

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

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет



# Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 5



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

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

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету  
(протокол № 4 від 29.11.2024 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 5. 274 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

УДК 004.9:37.018.43

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.1>

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ GEOGEBRA ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ ОНМУ ДИСЦИПЛІНАМ ІНЖЕНЕРНОГО ПРОФІЛЮ

---

*Андрєєвська Г. М.* – кандидат географічних наук,  
доцент кафедри морського та цивільного будівництва і архітектури  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0003-1486-9818

*Литвиненко В. В.* – старший викладач кафедри морського  
та цивільного будівництва і архітектури  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-0715-5190

На сьогоднішній день застосування інформаційних технологій у навчальному процесі ВНЗ стало звичним явищем. В ОНМУ дистанційне навчання відбувається за допомогою LMS Moodle, яку сміливо можна назвати найпопулярнішою у світі. Програмний комплекс GeoGebra може застосовуватись як складова частина цієї платформи.

У статті розглядаються переваги використання системи GeoGebra при вивченні інженерних дисциплін у дистанційному режимі на прикладі викладання курсу «Гідрологія та гідрометрія» для студентів спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» в Одеському національному морському університеті. Особливу увагу приділено аспектам практичного використання GeoGebra при вирішенні графоаналітичних задач.

Програма GeoGebra пов'язує між собою алгебраїчне, геометричне та табличне уявлення поставленої задачі, що дозволяє створювати візуальне рішення. Такий підхід сприяє розвитку наочно-образного та творчого мислення студентів та є дуже зручним при проведеному інтерактивних практичних занять, що важливо при дистанційному навчанні.

Впровадження програми GeoGebra при розв'язуванні сюжетних, прикладних задач сприяє розвитку творчої та інтелектуальної активності студентів. Ця програма дозволяє візуалізувати математичні концепції, що полегшує розуміння складних тем. GeoGebra також підтримує інтерактивні моделі, які студенти можуть змінювати в реальному часі, що сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу та розвитку навичок критичного мислення.

Сумісність GeoGebra з LMS Moodle дозволяє перевіряти файл з розрахунками студентів прямо в Moodle, що дуже зручно для викладача при контролі та оцінюванні. Крім

---

того, GeoGebra інтегрується з Moodle, дозволяючи зберігати стан виконаних завдань, відстежувати прогрес студентів, це значно підвищує ефективність навчального процесу та полегшує управління навчальними матеріалами.

**Ключові слова:** дистанційне навчання, GeoGebra, графо-аналітичні задачі, гідрологія, гідрометрія.

**Andreyevska G. M., Litvinenko V. V. Advantages of using the GeoGebra system for distance learning in engineering disciplines**

Today, the use of information technology in the educational process of higher education institutions has become commonplace. At ONMU, distance learning is carried out using the Moodle LMS, which can be safely called the most popular in the world. The GeoGebra software package can be used as an integral part of this platform.

The article discusses the advantages of using the GeoGebra system in the study of engineering disciplines in a distance mode on the example of teaching the course 'Hydrology and Hydrometry' for students of speciality 194 'Hydraulic Engineering, Water Engineering and Water Technologies' at Odesa National Maritime University. Particular attention was paid to aspects of practical use of GeoGebra in solving graph-analytical problems.

The GeoGebra software connects algebraic, geometric and tabular representations of the problem, which allows you to create a visual solution. This approach promotes the development of visual and creative thinking of students and is very convenient for conducting interactive practical classes, which is important in distance learning.

The use of GeoGebra in solving storytelling and applied problems promotes the development of students' creative and intellectual activity. It allows you to visualise mathematical concepts, which makes it easier to understand complex topics. GeoGebra also supports interactive models that students can modify in real time, which helps to deepen learning and develop critical thinking skills.

GeoGebra's compatibility with the Moodle LMS allows you to check the file with students' calculations directly in Moodle, which is very convenient for the teacher for control and assessment. In addition, GeoGebra integrates with Moodle, allowing you to save the status of completed tasks, track student progress, which significantly increases the efficiency of the learning process and facilitates the management of educational materials.

**Key words:** distance learning, GeoGebra, graphical and analytical tasks, hydrology, hydrometry.

**Вступ.** У статті розглядається переваги інтерактивних систем навчання при дистанційному проведенні практичних занять на прикладі вирішення задачі по розрахунку витрати води графоаналітичним способом. Розкрито можливості інструменту GeoGebra важливі для підвищення якості підготовки майбутніх спеціалістів в галузі гідротехнічного будівництва у контексті реалізації принципу наочності та залучення студентів до інтерактивної діяльності. Виконання графо-аналітичних завдань з дисципліни «Гідрологія і гідрометрія» у середовищі GeoGebra дозволяє візуалізувати поставлену задачу, що сприяє глибшому розумінню матеріалу та підвищує інтерес до дисципліни, що вивчається. Крім того, виконання інтерактивних завдань в аудиторій та при самостійній роботі позитивно впливає на успішність студентів, сприяє розвитку творчої та інтелектуальної активності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Слід зазначити, що у всьому світі постійно зростає інтерес викладачів до інформаційно-інноваційні технологій освіти. Велика кількість викладачів вже почала успішно застосовувати ці технології при викладанні своїх дисциплін. Наприклад у деяких ВНЗ при викладанні курсів з математики успішно використовується система GeoGebra [1, 2, 3]. Вона може бути застосована для розв'язання рівнянь, ілюстрації графіків, для вивчення кінематичної геометрії плоских механізмів [4, 5]. У роботах [6, 7] пропонується застосування динамічної геометрії при викладанні дисциплін будівельного напрямку. У роботі [8] надано можливість використання програми GeoGebra при викладанні математичних основ інформатики. У статті [9] досліджується використання GeoGebra для покращення розуміння комплексних чисел та функцій комплексних змінних для студентів, які вперше бачать складні числа та функції, а також для тих, хто має деякий досвід роботи з ними. У роботі [10] йдеться

про зростаючу міжнародну діяльність мережи інститутів GeoGebra, які прагнуть підтримувати викладачів та дослідницькі проекти щодо використання технології динамічної математики в закладах освіти по всьому світу. В [11, 12] доводиться, що існує значна різниця в середніх математичних досягненнях між групами, яка під час навчання використовують інструменти візуалізації GeoGebra та групами з традиційною стратегією навчання. На теперішній час сформувалася міжнародна спільнота користувачів GeoGebra, яка активно вирішує та розвиває традиційні проблеми математичної освіти, одночасно використовуючи переваги як технологічних, так і теоретичних винаходів. Крім цього, використання інтерактивного середовища GeoGebra дозволяє викладачам продовжувати викладання, коли вони стикаються з обставинами, що вимагають віртуального навчання з мінімальним часом підготовки [13].

**Постановка проблеми.** Дослідження можливостей застосування динамічної геометрії GeoGebra при дистанційному навчанні студентів спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» для оволодіння навичками вирішення задачі по розрахунку витрати води графоаналітичним способом та побудови плану течії.

**Мета та завдання.** На практичному прикладі показати можливості використання програми GeoGebra при дистанційному навчанні студентів навичкам розрахунку витрати води графоаналітичним способом та побудові плану течії.

**Результати досліджень.** Основним результатом досліджень є реалізація задачі з розрахунку витрати води графоаналітичним способом та побудова плану течії з використанням інструментів динамічної геометрії GeoGebra при дистанційному навчанні.

Під час вивчення ОК «Гідрологія та гідрометрія» необхідно навчити студентів виконувати інженерні розрахунки параметрів водних потоків. До таких розрахунків також належить визначення витрати річки за результатами натурних вимірів. Натурні виміри дозволяють більш точно установити основні характеристики річкового потоку. Рішення поставленої задачі здійснюється безпосереднім виміром течії спеціальною вертушкою і промірами глибини лотлинами або ехолотами. На річці встановлюється поперечник і вся ширина річки розбивається на ряд ділянок (вертикалів) на кожній вертикалі вимірюється: глибина  $H$ , м; швидкості течії на різних глибинах і обчислюється середня швидкість течії  $V_{\text{ср}}$ , м/с. Вихідними даними для розрахунку у наведеному прикладі стане *План ділянки річки в ізобатах* (рис. 1). Потрібно побудувати профіль водного перерізу та обчислити витрату води графоаналітичним способом за допомогою програми GeoGebra.

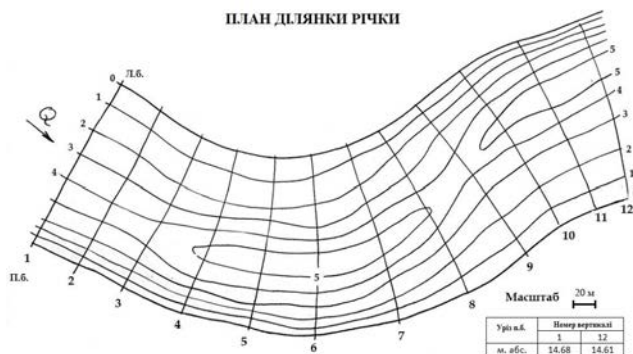


Рис. 1. Вихідні дані

На основі промірів глибин (план ділянки річки в ізобатах) будується поперечний профіль річки (рис. 2). Річка умовно розбивається на 5 вертикалей. Відстань між вертикалями приймається приблизно однаковою.

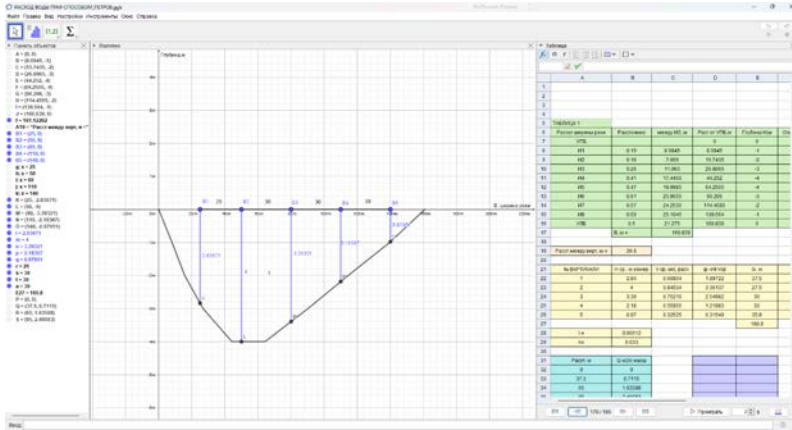


Рис. 2. Побудова поперечного профілю річки у програмі GeoGebra

З профілю знімається значення середньої глибини  $H_{cp}$  для кожної розрахункової ділянки. За формулою (1) розраховується середня швидкість річки для кожної ділянки.

$$V_{cp} = \frac{1}{n} H^{1/6} \sqrt{HI} = \frac{1}{n} H^{2/3} I^{1/2} = \frac{\sqrt{I}}{n} H^{2/3}, \quad (1)$$

де  $V_{cp}$  – середня швидкість течії на вертикалі,  $H_{cp}$  – глибина на вертикалі,  $I$  – ухил водної поверхні.

Значення витрати води по кожній вертикалі обчислюється за формулою:

$$q = V_{cp} H = \frac{1}{n} H^{2/3} I^{1/2} H = \frac{1}{n} H^{5/3} I^{1/2} \quad (2)$$

Витрати води в межах між вертикалями обчислюється за формулою:

$$Q_i = q_i b_i \quad (3)$$

$b_i$  – знімається з профілю. При цьому витрата  $Q$  визначається з наростаючим результатом.

Обчислення виконують у табл. 1.

Таблиця 1

### Визначення витрати $Q$ з наростаючим результатом

№	№ ВЕРТИКАЛИ	$H_{cp}$ , м измер	$V_{cp}$ , м/с, расч	$q_i = H_i V_{cp}$	$b_i$ , м	$Q$ м³/с	СУММА $Q$ м³/с
21							
22	1	2.84	0.66804	1.89722	37.5	71.14585	71.15
23	2	4	0.84034	3.36137	27.5	92.43779	163.58779
24	3	3.39	0.75216	2.54982	30	76.49472	240.08251
25	4	2.18	0.55955	1.21983	30	36.59488	276.67738
26	5	0.97	0.32525	0.31549	35.8	11.29454	287.97192
27					160.8		

За даними табл. 1 у програмі *GeoGebra* будуються графіки (рис. 3):

Повну витрату річки  $Q_p$  (на шкалі витрат) поділяють на 5 рівних частин (по кількості вертикалей) і через отримані точки проводять горизонталі до перехрестя з кривою витрат. У програмі *GeoGebra* цю операцію можна виконати за допомогою інструмента *Паралельна пряма*. Точки пересічення ( $I_1, J_1, K_1, L_1, M_1$  на рис. 4) визначають положення векторів середніх швидкостей течії по ширині ріки. Далі будується еюра векторів швидкості (рис. 4 – (1)). По побудованому плану течії очевидно, що течії з великими швидкостями формуються біля увігнутого берега, в області великих глибин.

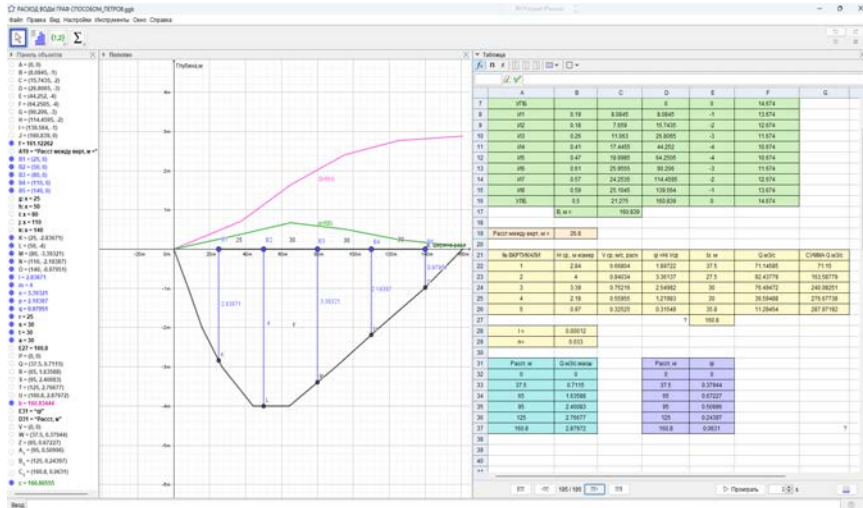


Рис. 3. Зміння питомих витрат  $q$  по вертикалям та крива підсумкової витрати  $Q_p$

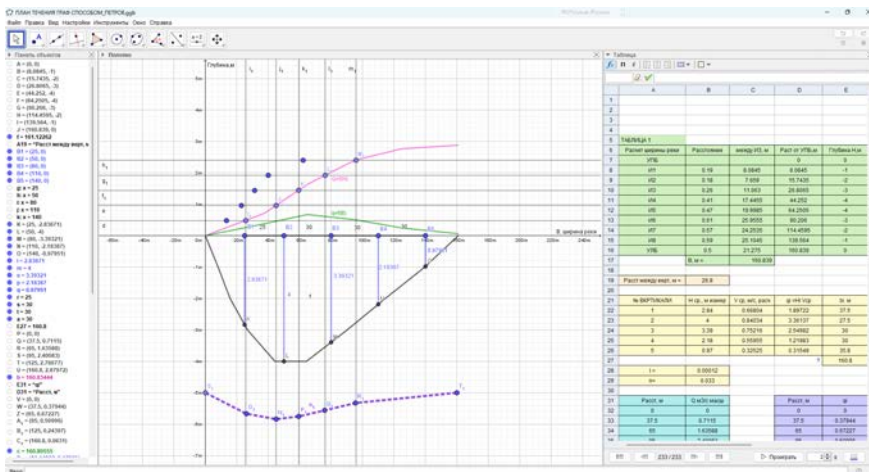


Рис. 4. Визначення положення векторів середніх швидкостей течії по ширині ріки і побудова еюри швидкості (1) за допомогою інструментів *GeoGebra*

Таким чином, ми бачимо, що використання динамічної середовища GeoGebra дозволяє вирішувати практичні графоаналітичні задачі, що необхідно при вивченні курсу Гідрологія і гідрометрія. Можливість GeoGebra зберігати протокол розрахунків дозволяє викладачу показувати всі кроки розв'язання задачі та дає можливість студентам переглядати приклад розрахунків.

**Висновки.** Сучасні студенти оточені технологіями на кожному кроці. Тобто однієї з перспективних та ефективних систем підготовки висококваліфікованих фахівців є впровадження сучасних інтерактивних методів навчання. GeoGebra, новий, безкоштовний і дуже інноваційний технологія, яку можна використовувати для розв'язання складних математичних задач при викладанні інженерних та технічних дисциплін студентам спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

Крім того, впровадження програми GeoGebra при розв'язуванні сюжетних, прикладних задач сприяє розвитку творчої та інтелектуальної активності студентів. Ця програма дозволяє візуалізувати математичні концепції, що полегшує розуміння складних тем. GeoGebra також підтримує інтерактивні моделі, які студенти можуть змінювати в реальному часі, що сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу та розвитку навичок критичного мислення.

Сумісність GeoGebra з LMS Moodle дозволяє перевіряти файл з розрахунками студентів прямо в Moodle, що дуже зручно для викладача при контролі та оцінюванні. Крім того, GeoGebra інтегрується з Moodle, дозволяючи зберігати стан виконаних завдань, відстежувати прогрес студентів, а також забезпечує можливість продовжувати роботу над завданнями пізніше. Це значно підвищує ефективність навчального процесу та полегшує управління навчальними матеріалами.

Вдосконалення сучасної системи дистанційного навчання є актуальним завданням. Викладачі Одеського національного морського університету активно займаються цим, впроваджуючи передові технології та методики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Fida Nisaa Kusnadi, Endang C. M. Asih. GeoGebra on students' engagement in mathematics learning: A literature review The 8th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar (MSCEIS 2021). AIP Conf. Proc. 2734, 010001 (2023) DOI: <https://doi.org/10.1063/12.0019319>
2. Ракута В. М. Система динамічної математики GEOGEBRA як інноваційний засіб для вивчення математики. Інформаційні технології і засоби навчання. 2012. № 4 (30). URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/892/687>
3. Olivares, J. and Valero, E. Linear Homogenous Linear Differential Equations of Third and Fourth order through GeoGebra Software for Engineering Students. In: Proceedings of 2nd International Conference on Research in Teaching and Education, Budapest, 6-8 March, 2020, pp 7-19. DOI: <https://www.doi.org/10.33422/2nd.rteconf.2020.03.34>
4. V.P.Verhovod. Izuchenie kinematicheskoy geometrii ploskih mehanizmov vsisteme GEOGEBRA / *Teoriya Mehanizmov i Mashin*. 2010. № 2. Tom 10 URL: [http://tmm.spbstu.ru/20/7\\_verkhovod\\_20.pdf](http://tmm.spbstu.ru/20/7_verkhovod_20.pdf)
5. Petra Shreiberova, Zuzana Moravkova. The use of geogebra in technical mathematics/ VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. DOI: 10.17973/MMSJ.2023\_03\_2022112
6. Адамчук, М., Андреевська, Г., & Федорова, К. (2021). Практика застосування динамічної геометрії GeoGebra в ЗВО при викладанні дисциплін будівельного напрямку. *Вісник Одеського національного морського університету*, (66), 60-73. URL: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2021-3-60-73>



7. Falcon, R.M. 3D Dynamical Geometry in Building Construction. In: J.L.G. Garcia ed. Proceedings of Technology and its Integration into Mathematics Education, Malaga, 6-10 July, 2010. Malaga: Universidad de Málaga, pp 1-18 URL:[https://www.researchgate.net/publication/265972561\\_3D\\_Dynamical\\_Geometry\\_in\\_Building\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/265972561_3D_Dynamical_Geometry_in_Building_Construction)

8. Гриб'юк, О. О.; Юнчик, В. Л. Особливості використання системи GeoGebra в процесі навчання курсу «Математичні основи інформатики». *Математика. Інформаційні технології. Освіта*, 2017, 1.4: 34-49. URL: [https://lib.iitta.gov.ua/707285/1/МИТО\\_Yunchyk.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/707285/1/МИТО_Yunchyk.pdf)

9. Navetta A. (2016). Visualizing functions of complex numbers using Geogebra. North American GeoGebra Journal. 5(2), 17-25. URL: <https://cutt.ly/EhOifJw>

10. Schoen R. (2011). Model-Centered Learning. Pathways to Mathematical Understanding Using GeoGebra. Sense Publishers, AW Rotterdam, The Netherlands, 257. URL: [http://www.geogebra.es/pub/GeoGEBra\\_Model.pdf](http://www.geogebra.es/pub/GeoGEBra_Model.pdf)

11. Saha R. A. Ayub A. F. M., Tarmizi R. A. (2010). The Effects of GeoGebra on Mathematics Achievement: Enlightening Coordinate Geometry Learning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 8, 686-693. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042810022007>

12. Yuliardi R. (2017). Mathematics Learning Assisted Geogebra using Technologically Aligned Classroom (TAC) to Improve Communication Skills of Vocasional High School Student. *Journal of Physics: Conference Series*, 895(1), 012156. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/895/1/012156/pdf>

13. Ziatdinov, R. and Valles, J.R. Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. *Mathematics*, 2022, 10 (3), 398. URL: <https://doi.org/10.3390/math10030398>

#### REFERENCES:

1. Fida Nisaa Kumnadi, Endang C. M. (2023) Asih. GeoGebra on students engagement in mathematics learning: A literature review The 8th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar (MSCEIS 2021). *AIP Conf. Proc.* 2734, 010001 DOI: <https://doi.org/10.1063/12.0019319>

2. Rakuta V. M. (2012) Systema dynamichnoi matematyky GEOGEBRA yak innovatsiyniy zasib dlia vyvchennia matematyky. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*. №4(30). URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/892/687>

3. Olivares, J. and Valero, E. (2020) Linear Homogenous Linear Differential Equations of Third and Fourth order through GeoGebra Software for Engineering Students. In: Proceedings of 2nd International Conference on Research in Teaching and Education, Budapest, 6-8 March, pp 7-19. DOI: <https://www.doi.org/10.33422/2nd.rteconf.2020.03.34>

4. Verhovod V.P. (2010) Izuchenie kinematicheskoy geometrii ploskih mehanizmov vsisteme GEOGEBRA. *Teoriya Mehanizmov i Mashin*. №2. Tom 10. URL: [http://tmm.spbstu.ru/20/7\\_verkhovod\\_20.pdf](http://tmm.spbstu.ru/20/7_verkhovod_20.pdf)

5. Petra Shreiberova, Zuzana Moravkova. The use of geogebra in technical mathematics/ VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. DOI: 10.17973/MMSJ.2023\_03\_2022112

6. Adamchuk, M., Andreievskā, H., & Fedorova, K. (2021). Praktyka zastosuvannia dynamichnoi heometrii GeoGebra v ZVO pry vykladanni dystsyplin budivelnoho napriamku. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu*, (66), 60-73. URL: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2021-3-60-73>

7. Falcon, R.M. (2010) 3D Dynamical Geometry in Building Construction. In: J.L.G. Garcia ed. Proceedings of Technology and its Integration into Mathematics Education, Malaga, 6-10 July, 2010. Malaga: Universidad de Málaga, pp 1-18. URL: [https://www.researchgate.net/publication/265972561\\_3D\\_Dynamical\\_Geometry\\_in\\_Building\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/265972561_3D_Dynamical_Geometry_in_Building_Construction)

8. Hrybiuk, O. O.; Yunchyk, V. L. (2017) Osoblyvosti vykorystannia systemy GeoGebra v protsesi navchannia kursu «Matematychni osnovy informatyky». *Matematyka. Informatsiini tekhnolohii. Osvita*, 1.4: 34-49. URL: [https://lib.iitta.gov.ua/707285/1/MITO\\_Yunchyk.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/707285/1/MITO_Yunchyk.pdf)
  9. Navetta A. (2016). Visualizing functions of complex numbers using Geogebra. *North American GeoGebra Journal*. 5(2), 17-25. URL: <https://cutt.ly/EhOIfJw>
  10. Schoen R. (2011). Model-Centered Learning. Pathways to Mathematical Understanding Using GeoGebra. Sense Publishers, AW Rotterdam, The Netherlands, 257. URL: [http://www.geogebra.es/pub/GeoGEBra\\_Model.pdf](http://www.geogebra.es/pub/GeoGEBra_Model.pdf)
  11. Saha R. A. Ayub A. F. M., Tarmizi R. A. (2010). The Effects of GeoGebra on Mathematics Achievement: Enlightening Coordinate Geometry Learning. *Procedia–SocialandBehavioralSciences*, 8, 686-693. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042810022007>
  12. Yuliardi R. (2017). Mathematics Learning Assisted Geogebra using Technologically Aligned Classroom (TAC) to Improve Communication Skills of Vocational High School Student. *Journal of Physics: Conference Series*, 895(1), 012156. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/895/1/012156/pdf>
  13. Ziatdinov, R. and Valles, J.R. (2022) Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. *Mathematics*, 10 (3), 398. URL: <https://doi.org/10.3390/math10030398>
-

UDC 004.9:658

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.2>

## OPTIMIZATION OF WIRELESS NETWORKS USING THE INET FRAMEWORK

---

**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

**Tverdokhlib A. O.** – Postgraduate Student at the Department  
of Computer Engineering of the State University of Information  
and Communication Technologies  
ORCID ID: 0000-0002-6591-2866

**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

**Behlitsov S. V.** – Postgraduate Student at the Department  
of Computer Engineering of the State University of Information  
and Communication Technologies  
ORCID ID: 0009-0000-9690-9881

**Herhel O. H.** – Master at the Department of Computer Engineering  
of the State University of Information and Communication Technologies  
ORCID ID: 0009-0008-0406-7890

**Bobkov R. A.** – Master at the Department of Computer Engineering  
of the State University of Information and Communication Technologies  
ORCID ID: 0009-0005-9539-0949

*The article explores methods of modeling wireless networks in the OMNeT++ environment using the INET Framework. It examines the basic concepts related to the modeling of wireless networks, and also describes the basic requirements for models in this field. The OMNeT++ simulation environment, its characteristics and advantages compared to other simulation environments are analyzed in detail. The article examines the main components of wireless network models, including network layer models, physical layer models, and radio channel models. For each of these components, the article examines modeling methods and highlights possible nuances associated with the choice of various modeling parameters. The article can be a useful source of information for those interested in modeling wireless networks and using OMNeT++ with the INET Framework. The article details the structure of the wireless network model using the IEEE 802.11 network as an example. In addition, the article describes methods of modeling various types of network protocols, including the MAC protocol, the network layer protocol, and others. The article examines the issue of testing models of wireless networks and their analysis. It describes the methodology of testing and comparing different models, and also pays attention to the analysis of modeling results and their interpretation. In general, the article provides a detailed description of wireless network simulation methods in the OMNeT++ environment using the INET Framework. The article presents a methodology for developing wireless networks that uses ready-made components of the INET framework to create a device model that meets specific requirements. Various modes of interaction of nodes in wireless networks, both direct*

---

and indirect through intermediate nodes, as well as an approach to modeling the physical level and the phenomenon of interference, are considered. The method of solving problem situations, in particular the analysis of time diagrams, in the context of the use of a simulation modeling environment for the analysis of project solutions in the process of creating wireless networks, was also investigated.

**Key words:** networks, Wi-Fi, simulation modeling, interference, OMNeT++, Framework.

**Антоненко А. В., Твердохліб А. О., Востріков С. О., Безліцов С. В., Гергель О. Г., Бобков Р. А. Оптимізація роботи бездротових мереж з використанням INET Framework**

Стаття досліджує методи моделювання безпроводових мереж у середовищі OMNeT++ з використанням INET Framework. В ній розглядаються основні поняття, пов'язані з моделюванням безпроводових мереж, а також описані основні вимоги до моделей у цій галузі. Детально проаналізовано середовище моделювання OMNeT++, його характеристики та переваги порівняно з іншими середовищами моделювання. Стаття розглядає основні складові моделей безпроводових мереж, включаючи моделі мережевого рівня, моделі фізичного рівня та моделі радіоканалу. Для кожної з цих складових в статті досліджуються методи моделювання і висвітлюються можливі нюанси, пов'язані з вибором різних параметрів моделювання. Стаття може бути корисним джерелом інформації для тих, хто цікавиться моделюванням безпроводових мереж та використанням OMNeT++ разом з INET Framework. У статті детально вказано структуру моделі безпроводової мережі з використанням прикладу мережі стандарту IEEE 802.11. Крім того, у статті описані методи моделювання різних типів мережевих протоколів, зокрема протоколу MAC, протоколу рівня мережі та інших. В статті розглядаються питання тестування моделей безпроводових мереж та їх аналізу. Вона описує методику тестування та порівняння різних моделей, а також звертає увагу на аналіз результатів моделювання та їхню інтерпретацію. У цілому, стаття надає детальний опис методів моделювання безпроводових мереж у середовищі OMNeT++ з використанням INET Framework. Також в статті подано методику розробки безпроводових мереж, що використовує готові компоненти фреймворку INET для створення моделі пристрою, відповідної специфічним вимогам. Розглянуто різноманітні режими взаємодії вузлів у безпроводових мережах, як прями, так і непрямі через проміжні вузли, а також підхід до моделювання фізичного рівня та явища інтерференції. Також досліджено методику вирішення проблемних ситуацій, зокрема аналіз тимчасових діаграм, в контексті використання середовища імітаційного моделювання для аналізу проектних рішень у процесі створення безпроводових мереж.

**Ключові слова:** мережі, Wi-Fi, імітаційне моделювання, інтерференція, OMNeT++, Framework.

**Introduction.** The design of any modern information system, which has a complex structure with a wide set of protocols, always begins with the construction and study of its simulation model [1]. The purpose of modeling is to determine the optimal topology, the adequate selection of network equipment, the determination of the operating characteristics of the network and possible development. One of the advantages of simulation modeling is the possibility of conducting a number of studies that allow determining the reliability of the system and its stability in the event of equipment failure [2, 3]. It is impossible to carry out such research on a working network, because it can negatively affect the stability of its work, besides, if the equipment used fails, there is a risk of suffering financial losses. Accurate modeling of the equipment under study allows you to obtain the same results as when using this equipment in real life, while allowing you to save money on its purchase.

Today, there are many simulation tools, which are subject to quite strict requirements, such as: detailed implementation of protocols at all levels, the ability to connect your own modules, the ability to change the parameters of the simulation model, platform independence, a developed graphical interface, as well as the availability of the product and its price. One such tool that meets the listed requirements is the simulation modeling environment OMNeT++ [4], which has a developed graphical interface both for building models and for analyzing the obtained results. Another important advantage

is its availability, while the functionality of the environment is not inferior to other paid means of simulation modeling.

**The aim of the study.** The purpose of the article is to research and analyze one of the possible approaches to design and wireless networks in the OMNeT++ simulation environment using the INET framework.

The subject of the study is the process of modeling wireless networks, different modes of their operation, and the methodology of model operation analysis.

The object of the article is methods and tools that can be used for modeling and researching wireless networks.

**Analysis of recent research and publications.** At the moment, one of the most interesting articles on this topic is "Design and implementation of wireless sensor network simulation using the OMNeT++ simulator" by A. Al-Gburi and S. Ngan. In this article, the authors consider the design and implementation of wireless sensor networks using OMNeT++ and the INET Framework. The study was conducted by creating a network model that reflects the real network and its subsequent simulation. Another interesting article on this topic is "Comparative Analysis of Wireless Sensor Network Simulation Tools" by M. Shahbaz, S. Ullah, and S. S. Khan. This paper provides a comparative analysis of network modeling tools, including OMNeT++, NS2, NS3, QualNet, and OPNET. The study focused on analyzing various aspects such as network modeling capabilities, performance, accuracy of results, and scalability. Additionally, the article "OMNeT++ based Wireless Sensor Network Simulation" by P. Yadav and S. Singh describes the use of OMNeT++ and the INET Framework for wireless sensor network simulation. In the study, the authors focused on analyzing the performance and accuracy of the simulation results.

In general, these articles indicate a great interest in using OMNeT++ and the INET Framework for modeling wireless networks. However, there are a number of articles that compare different modeling tools to determine their advantages and disadvantages compared to each other. For example, in the article "Comparative study of simulation tools for wireless sensor network" by N. Kumar and M. Kumar, a comparative analysis of various simulation tools, including OMNeT++, NS2, NS3, and QualNet, was conducted. The authors compared these tools on several criteria, such as performance, accuracy of results, and extensibility, and concluded the advantages and disadvantages of each. Also, the article "Performance evaluation of wireless sensor network protocols using OMNeT++ simulation" by S. Singh and P. Yadav is devoted to the performance evaluation of wireless sensor network protocols using OMNeT++ and the INET Framework. In the study, a comparative analysis of different protocols was carried out, and the impact of various factors on network performance was also studied.

One of the most interesting Ukrainian articles is "Modeling and analysis of wireless networks based on the IEEE 802.15.4 standard using the OMNeT++ platform" by M. Kulchytska, E. Makarenko and Yu. Khrustalev. This article deals with the design and modeling of wireless networks based on the IEEE 802.15.4 standard using OMNeT++ and the INET Framework. The authors investigated various network parameters, such as network performance and efficiency, and compared simulation results with experimental data.

In addition, the article "Modeling and research of wireless networks based on the ZigBee protocol using the OMNeT++ platform" by I. Gryn and E. Drozdova is devoted to modeling and research of wireless networks based on the ZigBee protocol using OMNeT++. In the study, the authors studied the influence of various network parameters on its performance and efficiency.

Thus, it can be said that the article on the modeling of wireless networks in the OMNeT++ environment using the INET Framework is relevant and important, since this topic is quite extensive and requires further research. Recent studies indicate that OMNeT++ together with the INET Framework is a powerful tool for modeling and researching wireless networks, allowing the study of various aspects of network performance and efficiency.

**Presentation of the main research material.** Let's consider one of the possible approaches to the design and analysis of wireless local networks (Wireless Local Area Network – WLAN) using the OMNeT++ simulation environment. The task of a comprehensive study of the simulation model of the simplest mobile WLAN by successively complicating it to take into account the features of various modes of operation of the wireless network is set. As a basis for the development of models, it is proposed to use typical components of the INET framework, the configuration of which allows you to model devices that meet the necessary requirements.

The object of research is WLANs, which fully comply with the standard of wired networks such as Ethernet [5], but use a different data transmission medium: infrared radiation or microwave radio waves. These networks can be stationary, mobile and mobile roaming. Stationary nodes of the network are rigidly tied to a certain point in space. Mobile allows the movement of network nodes within the range of one access point or one network segment, and mobile roaming allows not only the movement of network nodes, but also ensures their roaming due to automatic switching from one access point to another. Depending on the nature of the connection, WLANs can support two main modes of operation:

- point-to-point (point-to-point), or Ad-Hoc mode [6, 7], in which communication between nodes is established directly without using special access points;
- point-to-multipoint (point-to-multipoint), or infrastructure mode, in which the network consists of at least one access point connected to the wired network and some set of wireless nodes.

In this article, the main attention is paid to the analysis of models of mobile Ad-Hoc networks, which work both with direct interaction of nodes, and with indirect interaction through intermediate nodes. This made it possible to investigate the operation of self-organizing WLANs with dynamic routing of messages to nodes that are outside the radio access zone of a particular low-power transceiver of the node, using intermediate nodes for this purpose and significantly expanding the area of operation of a particular WLAN segment [8, 9].

For simulation modeling of this kind of networks, it is suggested to use the INET framework included in the OMNeT++ delivery. It contains a large set of components for modeling both the network as a whole and its individual elements, namely: the physical environment and signal propagation modes in it, various types of antennas, receivers, transmitters and network cards with the possibility of accounting for their energy consumption [10].

The first stage on the way to solving the task was the development of technology for the process of building and researching the simplest WLAN, which consists of only two nodes connected by a radio channel for the transmission of UDP datagrams. To design a simulation model of such a network, it is enough to use only three components of the INET framework, namely:

- WirelessHost component module,
  - component module of IdealRadioMedium,
  - simple IPv4NetworkConfigurator module.
-

The WirelessHost component module is a wireless network host model and is one of the extensions of the StandartHost module, which is the basis for other TCP/IP host models. The internal structure of this module (Fig. 1) consists of four levels: application, transport, network and channel, represented by the network interface.

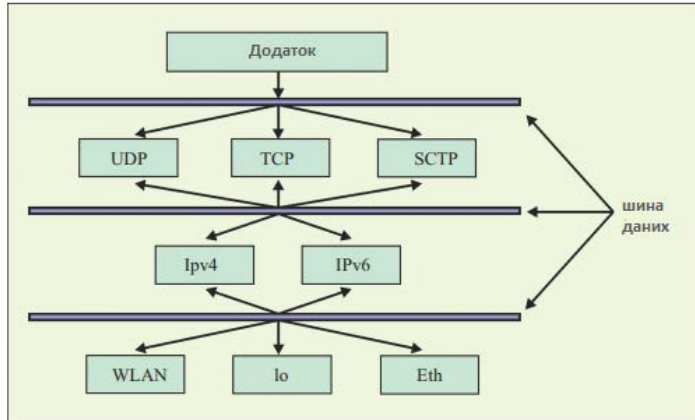


Fig. 1. The internal structure of the WirelessHost host

Each of the levels includes a set of predetermined components from the INET framework, the type of which can be changed through a configuration file. In particular, the application layer contains a dimensionless array of components of the "application" type, each of which simulates the operation of the application on the host model. This module can generate outgoing traffic, transmitting it to lower levels, and receive incoming traffic. The transport layer includes three components that model User Datagram Protocol (UDP), Transmission Control Protocol (TCP), and Stream Control Transmission Protocol (SCTP). The network layer consists of two components: Internet Protocol version 4 (Internet Protocol version 4 – IPv4) and Internet Protocol version 6 (Internet Protocol version 6). The channel layer contains components that implement network interfaces, such as wired Ethernet (Eth), wireless (wlan), internal loop interface (Loopback – lo), etc. Each of the levels is connected to each other through common data buses.

The IdealRadioMedium component module is used to simulate the physical environment in which wireless communication takes place. It is responsible for modeling signal propagation, its attenuation as it is removed, accounting for interference and other physical phenomena. The physical environment model determines when, where, and how transmission and extraneous noise arrive at receivers. The IdealRadioMedium module has a complex structure and includes other predetermined components that simulate the following physical phenomena and processes:

- propagation of a radio signal in space (propagation) – the component describes how a radio signal propagates through space in time;
- analog representation of a radio signal (analogModel) – models the process of how an analog representation of transmissions turns into an analog representation of receptions;
- background noise (backgroundNoise) – represents a model of background noise and describes thermal noise, cosmic background noise and other random fluctuations of the electromagnetic field that affect the quality of the communication channel;

- power reduction from distance (pathLoss) – describes the power reduction as the signal propagates through space;
- reduction of the radio signal when passing through obstacles (obstacleLoss) – is a loss model and describes the reduction of signal power when it passes through obstacles and physical objects.

In general, the physical environment models implemented in INET describe a physical device that is capable of transmitting and receiving signals. They include: antenna model, receiver and transmitter models, and energy consumption model. The antenna model is divided between the transmitter model and the receiver model. The separation of the transmitter model and the receiver model allows the use of asymmetric configurations.

Consider the model of interaction between two wireless nodes using the UDP protocol. The approach to building this model will be considered on the example of a wireless network consisting of two nodes interacting with each other using the UDP protocol. In this model, the nodes will be located at a distance of 400 m from each other, while the radius of action of the receiver of each node will be equal to 500 m. The use of UDP as a data transmission protocol means that the nodes must function not only at the transport level, but also at the user level applications. The INET framework contains two types of modules that work using the UDP protocol:

- UDPBasicApp – a module that provides generation of UDP packets of a given length to a given IP address at a given time interval;
- UDPSink – a module simulating a program that receives messages received from the UDP layer, counts their number and stops their further processing.

In the studied model, it is necessary that the node hostA generates a UDP message of length 1 KB and transmits it to the node hostB after a random time interval. The WirelessHost wireless node model used from the INET framework already has an application interface module, therefore, to implement the task, it is only necessary to redefine the type of module used in the configuration file, which can have the following form:

```
*.hostB.numUdpApps = 1
*.hostB.udpApp[0].typename = "UDPSink"
*.hostB.udpApp[0].localPort = 5000
*.hostA.numUdpApps = 1
*.hostA.udpApp[0].typename = "UDPBasicApp"
*.hostA.udpApp[0].destAddresses = "hostB"
*.hostA.udpApp[0].destPort = 5000
*.hostA.udpApp[0].messageLength = 1000B
*.hostA.udpApp[0].sendInterval = exponential(10ms)
```

This setting tells hostA to use the UDPBasicApp module, which generates 1 KB UDP messages and sends them at a random time interval described by an exponential distribution with a mean of 10 ms. In order for the generated messages to reach the recipient, the configuration file specifies the name of the host to which the message is assigned, as well as the port number, for example, 5000. The hostB node uses the UDPSink module and also works on port 5000.

In addition to the application layer, the configuration file must contain the definition of the physical layer, which is represented in the WirelessHost host model as a network adapter, which includes an antenna and a radio transceiver. In the INET environment, there is a wide variety of radio modules supporting different physical layer protocols, but this example will use an idealized model of the physical environment whose hosts contain the IdealRadio module as part of IdealWirelessNic. Based on the above, the configuration of the physical layer will look like this:



```
*.host*.wlan[*].typename = "IdealWirelessNic"  
*.host*.wlan[*].radio.transmitter.CommunicationRange = 500m  
*.host*.wlan[*].radio.receiver.ignoreInterference = true  
* *.bitrate = 1Mbps
```

After starting the created simulation model for execution, a graphical window of the execution environment will open, where the entire network and the modules included in it will be presented. The environment allows you to display the internal structure of the assembled module at any time by double-clicking on its icon. It should be noted that the structure of the displayed module will differ from the one presented in fig. 1. This is due to the fact that after running the execution model, the simulation environment processed the configuration file and configured the parameters of the WirelessHost components.

Each host has only one network adapter, but with two network interfaces each. At the same time, one of them is an internal loop (lo), and the second is external (wlan) and connected to a wireless network through an internal transceiver. Both nodes have the same structure both at the physical level and at the channel, network and transport levels. The difference is observed only at the level of applications, namely, in the type of application used.

After running the model, you can observe how the UDPBasicApp program running on the hostA node generates UDP packets with a random time slot. After that, these packets, having passed through the UDP and IPv4 layers, arrive at the wlan network interface, which puts the incoming packets in a queue and transmits them as soon as such an opportunity arises. The use of a stack implementation in the network interface allows you to match the speed of incoming packets from the upper level with the bandwidth of the channel, as well as the speed of the environment. This means that as long as there are packets in the stack queue, they will be transmitted one after the other without spaces between them.

According to the simulation results, it can be seen that the UDP application on the hostA node generated 2427 packets in 25 minutes. At the same time, 2426 packets were processed at the UDP transport level. Of these, 2422 packets were transmitted over the radio channel and arrived at the hostB node. Here, they passed through the link, network, and transport layers of this node and arrived at the UDP application of host hostB. Thus, the packet counter indicates that 2422 packets of length 1028B (1000B message + 8B UDP + 20B IP) each were received in 25 s, which means that the transfer rate was about 800 kbit/s.

Consider the model of static routing for the interaction of remote nodes. The possibilities of using the OMNet++ simulation environment are not limited to the process of designing and researching only simple models. It also allows you to investigate more complex models and situations, such as in [11], where the effectiveness of the use of transmission reservation was analyzed on the example of the created simulation model of a wired computer network. Another example, which will be discussed below, demonstrates an approach to the design and research of a more complex structure, but already a wireless network [12, 13]. Let's assume that there is a need to provide wireless communication and transfer UDP messages from node hostA to node hostB with a radius of action of their receivers of only 250 m. At the same time, the distance between these nodes is 400 m, which excludes the possibility of their direct interaction. In addition, there are three more nodes hostR1, hostR2 and hostR3 located between the nodes, which in the process of their work can interfere with the work of neighboring nodes. The peculiarity of the studied model is that the receivers of network adapters, having low power, limit the radius of their action, which leads to the impossibility of direct

communication between two nodes. However, a connection can be established if there are other nodes between these nodes that can broadcast and transmit network packets. For this, all or part of the intermediate nodes must support routing.

If we add three more nodes to the original model (Fig. 3), limit the power of all receivers to 250 m and run the model for execution, we can see that the hostA node sends UDP packets to neighboring nodes, but the latter do not receive them, because these packages are not intended for them. In order for the neighboring nodes not to discard the received packets, but to transfer them to another node, it is necessary that the routing table be configured on the intermediate nodes [14]. In this simplest case, an example of static routing is considered, which is configured through a simple IPv4NetworkConfiguration module in a configuration file that looks like this:

```
# Automatic configuration of static routes
*.configurator.config = xml("<config>
<interface host='**' address='10.0.0.x' netmask='255.255.255.0' />
< autoroute metric='errorRate' />
</config>")
#Disabling optimization of routing table entries
*.configurator.optimizeRoutes = false
#Disable routing table entries created from netmask
**.RoutingTable.netmaskRoutes = ""
```

This setup is done using an XML string whose parameters tell the configurator to assign IP addresses in the 10.0.0.x range and use the estimated peer-to-peer error rate to configure static routes. In this way, the routes will be formed in such a way as to minimize the total errors, resulting in the creation of a correctly configured IPv4 network without any additional manual settings. The generated routing tables are stored in the routingTable parameter of each of the hosts, which is available for viewing in the graphical execution environment (Fig. 2).

```
routes (std::vector<inet::IPv4Route *>)
├── routes[4] (inet::IPv4Route *)
│   ├── [0] = dest:10.0.0.2 gw:10.0.0.3 mask:255.255.255.255 metric:0 if:wlan0(10.0.0.1) REMOTE MANUAL
│   ├── [1] = dest:10.0.0.3 gw:* mask:255.255.255.255 metric:0 if:wlan0(10.0.0.1) DIRECT MANUAL
│   ├── [2] = dest:10.0.0.4 gw:* mask:255.255.255.255 metric:0 if:wlan0(10.0.0.1) DIRECT MANUAL
│   └── [3] = dest:10.0.0.5 gw:10.0.0.3 mask:255.255.255.255 metric:0 if:wlan0(10.0.0.1) REMOTE MANUAL
```

Fig. 2. Routing of node hostA: *dest* – destination address, *gw* – gateway; *mask* – subnet mask; *metric* – network metric, *REMOTE MANUAL* – remote access; *DIRECT MANUAL* – direct access

From the given table it can be seen that the node hostA (10.0.0.1) has a direct communication interface with the nodes hostR1(10.0.0.3) and hostR2 (10.0.0.4). Also in the table is a route that informs that hostB (10.0.0.2) can be reached through hostR1 using the latter as a gateway, and hostR3 (10.0.0.5) can be reached through hostR2's gateway. After completing the configuration of the network model and running it for execution, you can see in the dynamics how the UDP packet generated by the hostA node arrives at the input of the hostR1 node, but now it does not discard this packet, but accepts it and forwards it to another node.

This process occurs according to static routing settings, in which the intermediate nodes of a given WLAN segment play the role of gateways, almost doubling the range

of possible wireless interaction between hostA and hostB nodes. The main difference of this model is that it simulates the process in which the packet (UDPBasicAppData-0) generated by the hostA node arrives in the radio channel not directly to the hostB node, but passing through the network and channel levels of the hostA node, is now addressed to the hostR1 node. This process is performed on the basis stored in the memory of the hostA node, the routing table, based on which all packets intended for delivery to the hostB node are addressed for transmission to the input of the hostR1 node. Packets received at its input will rise to the network level and immediately be sent back to the network according to the routing table stored in the memory of the hostR1 node. Since the hostR1 node has a direct access route to the hostB node, the UDP packet received at its input will be directly broadcast to the hostB node.

Let's consider the model of accounting for mutual interference. In the previous WLAN model, idealized network operating conditions were implemented, which did not take into account such a physical phenomenon as radio wave interference, which occurs when two or more radio signals enter the input of a radio receiver, due to which they collide, distort and disrupt the normal operation of the radio signal receiver [1]. Until this moment, this effect was not taken into account, and in fact devices with full duplex communication were simulated [15]. At the same time, the OMNeT++ environment implements four basic methods of describing and presenting signals.

The first representation is called range-based. It is implemented in the IdealRadioMedium component. The advantage of this structure is compactness, predictability and high productivity. However, its drawback is that it does not accurately reflect the real behavior of the physical environment.

The second structure is a narrowband signal with a scalar signal power carrying frequency and bandwidth. Its advantage is that it allows you to calculate the signal-to-noise ratio, and in most cases it is sufficient for modeling IEEE 802.11 networks.

The third data structure defines a signal whose power is changed later. In this case, the signal power is represented by a one-dimensional clock value that precisely follows the transmitted pulses. This representation is used when modeling radio waves of the IEEE 802.15.4a UWB standard.

A fourth representation uses multivariate values to describe the power of a signal that varies with both time and frequency. This representation can be used when modeling radio waves of the IEEE 802.11b standard.

All the considered examples used the simplest physical environment model based on the IdealRadioMedium module, which uses a range representation, where the degree of signal influence on neighboring nodes depends on the distance at which they are located. When working with this module and its configuration, only three main ranges stand out.

1. Communication range – the range of reliable radio signal reception and transmission.

2. Interference Range – a range in which normal communication is no longer possible, but it still significantly affects the receivers of other devices.

3. Detection range – a range where there is no influence of the node on the receivers of other devices, but it is possible to detect the presence and operation of this device.

In order to investigate the degree of mutual influence of radio waves in the configuration file, the IdealRadioMedium component was set to an interference range with a distance of 500 m. The assigned parameters describe the fact that radio signals become weaker with distance, but there is a range in which they can no longer be correctly received, but they are still strong enough to affect other signals, resulting in reception failure.

```
#We allow accounting of interference in the radio receiver from the operation of neighboring nodes *.host*.wlan[*].radio.receiver.ignoreInterference = false
```

```
# We make an interference range equal to the double range of communication *.host*.wlan[*].radio.transmitter.maxInterferenceRange = 500m
```

```
#Display on the scheme of the interference range of the node hostA *.hostA.wlan[0].radio.displayInterferenceRange=true
```

To study this mode, the configuration file was included in the mode of registration and recording of events that occur in the model during an hour of its run. After the model was finished, report files were generated, according to which during the model's operation:

- node hostA generated 92 UDP messages of 1 KB size each;
- the UDP level of the hostA node passed 91 datagrams with a size of 1008 B;
- 89 packets with a size of 1028 B were sent to the network after passing through the MAC level;
- however, hostB received only 1 packet per 1 model time.

If we now analyze the time diagram of the registered network simulation process, we can find that only at 800 ms of the model time, one of the first messages, which was generated by the hostA node and relayed by the hostR1 node, arrived at the wlanB.hostB.udpApp(0) input. The high intensity (average hourly 10 ms) of the random generation of UDP packets by the hostA node, the presence of interference and the struggle for access to the wireless data transmission medium led to the fact that the message was sent from the hostA node to the hostB node only at the moment of a significant pause on hostA nodes. At the same time, the struggle for access to the wireless data transmission medium was conducted between hostA and hostR1 nodes, which wanted to transmit both direct and relayed UDP packets to hostB node. But if the hostB node received one of the first messages sent from the hostA node, this means that it was not lost in the network and was able to be saved somewhere. This question is answered by the graph of the dependence of time (T) on the length of the queue (L), which is formed in the buffer of the network gateway adapter hostR1, which relays packets between nodes hostA and hostB. From the figure shown in Figure 3 shows that in 1 s of model time, almost 80 packets sent by the hostA node, which the hostR1 node did not have time to relay to hostB, were stored in this buffer. Currently, the value of the maximum adapter buffer queue length is defined by default in the corresponding INET framework module. In a real wireless network, the length or size of the buffer is very important to the performance of the network, especially if this adapter is used in a device such as a gateway.

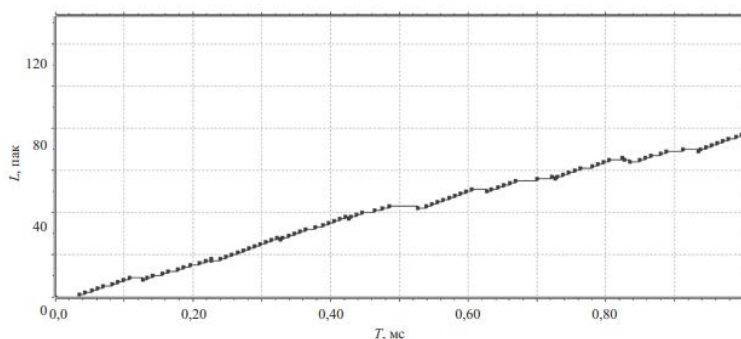


Fig. 3. Graph of the queue length in the network gateway buffer of the hostR1 node

The reasons that prevented the model of the simulated UDP packet from the hostR1 gateway buffer to reach the hostB node earlier? The answer to this question is provided by the analysis of the events registered in the network that occurred during its operation [16-19]. The time diagram of the operation of all elements for all nodes of the wireless network was considered, from which it can be seen that:

- the first packet (UDPData-0) enters the network (event #22) and after some time interval reaches nodes hostR1 (#23) and hostB (#26). Moreover, the second event occurs later, since the hostB node is located further;
- node hostB receives radio signals from node hostA (#26 – #45), but does not recognize them due to a significant distance from the transmission source;
- node hostR1 starts successfully receiving a packet from node hostA (#23 – #32);
- in the process of transmitting the first packet, the application wlanB.hostA.udpApp(0) (#27) generates the second UDPBasicAppData-1 message, which cannot be sent to the network. It is placed in the buffer of the network adapter and will be there until the end of the operation of the network adapter with the first packet. This moment describes event #36 and a green dashed arrow connecting it to event #27;
- node hostR1, having successfully finished receiving the first packet (#32), consults its routing table (#35). Based on it, it forwards the received packet to the hostB node and sends it to the network (#39);
- however, a little earlier (#32) node hostA started transmitting the second packet, which was previously stored in the buffer of its network adapter;
- two radio signals (#48 and #51) are received simultaneously at the receiver input of the node, which interfere with each other, preventing the hostB node from recognizing the UDP packet coming from the gateway.

Summarizing the study of the WLAN model taking into account interference from neighboring devices, it should be noted that there is a significant decrease in performance. Most of the time, the transmitting node and the gateway work at the same time, which causes two signals to arrive at the transceiver of the receiving node at once and their "collision" with each other.

This approach to the organization of wireless networks is unacceptable, and in order to reduce interference to a minimum, some access protocol to the multimedia environment is needed, which will allow determining which host has the right to transmit data and when [17, 18]. One of these protocols can be a CSMA/CA-based protocol operating at the MAC level with additional confirmations and a repetition mechanism, which in the OMNeT++ environment is implemented by the CsmCaMac module, which, with appropriate settings, can successfully approximate the basic 802.11b Ad-Hoc mode [20–22].

**Conclusions.** The above studies demonstrate how simulation modeling is used in designing and studying the operation of real wireless networks. It is shown the possibility of creating simulation models of wireless networks using ready-made components from the INET framework, which help to describe various elements of the network, as well as perform their flexible configuration to simulate the required behavior.

The approach of modeling different modes of operation of wireless networks is demonstrated on the example of the implementation of direct interaction during the design of the Ad-Hoc mode, as well as the indirect one, in which the process of routing through intermediate nodes is implemented. The research in the article of such a physical phenomenon as interference made it possible to reveal the fact of the negative influence of the nodes located on each other, which worsen the quality of radio communication and can lead to a decrease in the speed of data transmission or their complete loss.

The article also demonstrates the approach of researching the operation of a wireless network by analyzing a time diagram file, the study of which allowed to explain the reason for significant delays in the relaying of network packets.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Varga, A. The OMNeT++ discrete event simulation system. In Proceedings of the European Simulation Multiconference, Prague, Czech Republic, 2001.
  2. Sommer, C., Dressler, F. and Gansen, T. (2008) On the need for bidirectional coupling of road traffic microsimulation and network simulation. In Proceedings of the 11th Communications and Networking Simulation Symposium (CNS), Ottawa, ON, Canada, 2008, pp. 71-79.
  3. Hämmäinen, H., Mäkelä, J., Mahonen, P. and Niemi, V. (2008) OMNeT++ network simulation framework. In Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), Vancouver, BC, Canada, 2002, pp. 171-178.
  4. INET Framework User's Guide, <https://inet.omnetpp.org/docs/users-guide/>
  5. Bhattacharjee, A., Rahmani, A.M. and Salim, U.A. (2015) Modeling and simulation of wireless sensor networks using OMNeT++ and MiXiM framework. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Computer, Communication and Control (IC4), Indore, India, 2015, pp. 1-6.
  6. Castañeda, L.E., Moya, F., Casilari, E. and Lloret, J. (2016) A comparative study of network simulators for wireless sensor networks. In Proceedings of the International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), Fez, Morocco, 2016, pp. 1-6.
  7. Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (6).
  8. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2023, (1).
  9. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023 (1)
  10. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (5).
  11. Li, F., Li, X., Li, B. and Li, Q. (2017) A comprehensive survey of network simulators for wireless networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, pp. 18-44.
  12. Singh, S., Purohit, P. and Kothari, A. (2017) Comparative analysis of wireless sensor network simulators: A survey. In Proceedings of the International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST), Jaipur, India, 2017, pp. 1-5.
  13. Ali, M., Khan, M., Memon, Q. and Kumar, D. (2019) Performance comparison of network simulators for wireless sensor networks. In Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP), Sikkim, India, 2019, pp. 1-6.
  14. Khajehpour, H. and Roudsari, M.H. (2019) A survey on network simulators for wireless sensor networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(1), p. 2.
  15. Koucheryavy, A. Quality of Service (QoS) classes for Ubiquitous Sensor Networks / A. Koucheryavy, A. Prokopiev // ICACST'2009: Proceedings, 15–18 February, Phoenix Park, Korea, 2009. – PP. 107–109.
  16. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. V. 678. P. 302–313.
-

17. Bogatyrev V.A., Slastikhin I.A. The models of the redundant transmission through the aggregated channels // ACSR-Advances in Computer Science Research. 2017. V. 72. P. 294–299.

18. Bogatyrev S.V., Bogatyrev V.A. Analysis of the Timeliness of Redundant Service in the System of the Parallel-Series Connection of Nodes with Unlimited Queues // Proc. 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018. P. 8604379.

19. Семенчук, О., Татарчук, Т., & Чебанова, Н. (2016). Моделювання технології LTE в системах масового обслуговування. Наукові праці Національного університету "Львівська політехніка".

20. Яворський, Б., Дубинський, Ю., & Дорошко, С. (2016). Моделювання технології Wi-Fi у середовищі мережевого симулятора OMNeT++. Збірник наукових праць НТУ "ХПІ".

21. Кулікова, О., Рева, О., & Яковлєва, І. (2018). Моделювання безпроводових мереж на основі WSN у середовищі OMNeT++. Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка".

22. Васильченко, Д. В., & Перетягін, О. В. (2019). Моделювання технології NB-IoT у середовищі OMNeT++. Наукові праці Херсонського державного університету. Серія: Електроніка і телекомунікації.

#### REFERENCES:

1. Varga, A. (2021). The OMNeT++ discrete event simulation system. In Proceedings of the European Simulation Multiconference, Prague, Czech Republic.

2. Sommer, C., Dressler, F. and Gansen, T. (2008) On the need for bidirectional coupling of road traffic microsimulation and network simulation. In Proceedings of the 11th Communications and Networking Simulation Symposium (CNS), Ottawa, ON, Canada, 71-79.

3. Hämmäinen, H., Mäkelä, J., Mahonen, P. and Niemi, V. (2008) OMNeT++ network simulation framework. In Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), Vancouver, BC, Canada, 171-178.

4. INET Framework User's Guide, <https://inet.omnetpp.org/docs/users-guide/>

5. Bhattacharjee, A., Rahmani, A.M. and Salim, U.A. (2015) Modeling and simulation of wireless sensor networks using OMNeT++ and MiXiM framework. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Computer, Communication and Control (IC4), Indore, India, 1-6.

6. Castañeda, L.E., Moya, F., Casilari, E. and Lloret, J. (2016) A comparative study of network simulators for wireless sensor networks. In Proceedings of the International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), Fez, Morocco, 1-6.

7. Tverdokhlib A.O., Korotin D.S. (2022). Efektyvnist funktsionuvannya kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, (6).

8. Tsvyk O.S. (2023). Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ceriia: Tekhnichni nauky, (1).

9. Novichenko Ye.O. (2023). Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohistychnykh tsentriv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, (1).

10. Zaitsev Ye.O. (2022). Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, (5).

11. Li, F., Li, X., Li, B. and Li, Q. (2017). A comprehensive survey of network simulators for wireless networks. Journal of Network and Computer Applications, (88), 18-44.

12. Singh, S., Purohit, P. and Kothari, A. (2017). Comparative analysis of wireless sensor network simulators: A survey. In Proceedings of the International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST), Jaipur, India, 1-5.
  13. Ali, M., Khan, M., Memon, Q. and Kumar, D. (2019). Performance comparison of network simulators for wireless sensor networks. In Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP), Sikkim, India, 1-6.
  14. Khajepour, H. and Roudsari, M.H. (2019) A survey on network simulators for wireless sensor networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8, (1).
  15. Koucheryavy, A. (2009). Quality of Service (QoS) classes for Ubiquitous Sensor Networks / A. Koucheryavy, A. Prokopiev // *ICTACT'2009: Proceedings*, 15–18 February, Phoenix Park, Korea, 107–109.
  16. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. (2016). The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // *Communications in Computer and Information Science*. (678), 302–313.
  17. Bogatyrev V.A., Slastikhin I.A. (2017). The models of the redundant transmission through the aggregated channels // *ACSR-Advances in Computer Science Research*. (72), 294–299.
  18. Bogatyrev S.V., Bogatyrev V.A. (2018). Analysis of the Timeliness of Redundant Service in the System of the Parallel-Series Connection of Nodes with Unlimited Queues // *Proc. 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)*.
  19. Semenchuk, O., Tatarchuk, T., & Chebanova, N. (2016). Modeling LTE technology in mass service systems. *Scientific works of the Lviv Polytechnic National University*.
  20. Yavorsky, B., Dubinsky, Yu., & Doroshko, S. (2016). Modeling Wi-Fi technology in the OMNeT++ network simulator environment. *Collection of scientific works of NTU "KhPI"*
  21. Kulikova, O., Reva, O., & Yakovleva, I. (2018). Simulation of WSN-based wireless networks in the OMNeT++ environment. *Scientific works of DonNTU. Series "Informatics, Cybernetics and Computer Engineering"*.
  22. Vasylchenko, D. V., & Peretyagin, O. V. (2019). Simulation of NB-IoT technology in the OMNeT++ environment. *Scientific works of Kherson State University. Series: Electronics and telecommunications*.
-



UDC 004.946.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.3>

## IMPROVEMENT OF 3D GRAPHICS IMAGE OPTIMIZATION TECHNOLOGY

**Hrabovskyi Ye. M.** – PhD, Associate Professor at the Department of Multimedia Systems and Technologies of the Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics  
ORCID ID: 0000-0001-7799-7249  
Scopus-Author ID: 57201773546

**Kobzev I. V.** – PhD, Associate Professor at the Department of Multimedia Systems and Technologies of the Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics  
ORCID ID: 0000-0002-7182-5814  
Scopus-Author ID: 57226248104

The article proposes the improvement of the technology of image optimization of 3D graphics. The object of research in this article is the process of using a software component to improve the technology of image optimization of 3D graphics. The practical significance of this study lies in the development of recommendations for improving the technology of image optimization of 3D graphics. The article provides a justification for the need to optimize graphic objects in such a way that they look realistic, but at the same time do not overload the hardware. The problems of having a high number of polygons, textures and complex lighting effects, which can create a significant load on the graphics processor, are considered. The importance of optimizing 3D graphics images to reduce the demands on computer computing resources, such as RAM and video card memory, is considered. The article describes the impact of optimizing 3D graphics images on reducing rendering time, which is especially important in industries that require high data processing speed, such as architectural modeling, simulations, and virtual reality. New rendering approaches such as real-time ray tracing and voxel-based rendering are covered. The characteristic features of the polygonal model for representing 3D objects are systematized. The need to use compression and texture optimization as important elements in 3D graphics that directly affect rendering performance and memory usage is substantiated. The article proposes a calculation of the effectiveness of using a texture atlas. In this study, mathematical modeling of polygons representing 3D objects was carried out. The article provides a lighting precalculation technique that is used for complex scenes, which allows to reduce the load on the system during the execution of the program. In this work, mathematical modeling of ray tracing processes is presented, which allows to describe the interaction of light with the surfaces of objects, taking into account reflection and refraction. The article presents a technology for optimizing polygonal grids, which is directly related to the number of polygons that make up the object. The improved technology of image optimization of 3D graphics acts as a scientific result of the conducted research.

**Key words:** 3D graphics, modeling, texture atlas, optimization, lighting, rendering, complex scenes.

### **Грабовський Є. М., Кобзев І. В. Вдосконалення технології оптимізації зображень 3D-графіки**

У статті запропоновано вдосконалення технології оптимізації зображень 3D-графіки. У якості об'єкта дослідження в даній статті виступає процес застосування програмної складової для вдосконалення технології оптимізації зображень 3D-графіки. Практична значущість даного дослідження полягає в розробленні рекомендацій стосовно вдосконалення технології оптимізації зображень 3D-графіки. У статті наведено обґрунтування необхідності оптимізувати графічні об'єкти таким чином, щоб вони виглядали реалістично, але при цьому не перевантажували апаратне забезпечення. Розглянуто проблеми наявності високої кількості полігонів, текстур та складних світлових ефектів, які можуть створювати значне навантаження на графічний процесор. Розглянуто значення оптимізації 3D-графічних зображень для зниження вимог до обчислювальних ресурсів комп'ютера, таких як оперативна пам'ять та пам'ять відеокарти. У статті описаний вплив оптимізації 3D-графічних зображень на зниження часу рендерингу, що є особливо

важливим у галузях, де потрібна висока швидкість обробки даних, таких як архітектурне моделювання, симуляції та віртуальна реальність. Розглянуто новітні підходи до рендерингу, такі як трасування променів у реальному часі та рендеринг на основі вокселів. Систематизовано характерні особливості полігональної моделі для представлення 3D-об'єктів. Обґрунтовано необхідність використання компресії та оптимізації текстур як важливих елементів у 3D-графіці, що безпосередньо впливають на продуктивність рендерингу та використання пам'яті. У статті запропоновано розрахунок ефективності використання текстурного атласу. В даному дослідженні проведено математичне моделювання полігонів представлення 3D-об'єктів. У статті наведено техніку попереднього розрахунку освітлення, яка використовується для складних сцен, що дозволяє знизити навантаження на систему під час виконання програми. В даній роботі подано математичне моделювання процесів трасування променів, що дозволяє здійснити опис взаємодії світла з поверхнями об'єктів, враховуючи відбиття та заломлення. В статті подана технологія оптимізації полігональних сіток, яка прямо пов'язана з кількістю полігонів, що складають об'єкт. У якості наукового результату проведеного дослідження виступає вдосконалена технологія оптимізації зображень 3D-графіки.

**Ключові слова:** 3D-графіка, моделювання, текстурний атлас, оптимізація, освітлення, рендеринг, складні сцени.

**Formulation of the problem.** 3D graphics are an integral part of many industries today, including gaming, film, virtual reality, and architectural modeling. However, increasing requirements for image quality and rendering speed create new challenges for developers and designers. One of the key aspects of achieving high performance is optimizing 3D graphics images.

3D graphics have a huge impact on many industries in the modern world, including computer games, virtual reality (VR), augmented reality (AR), cinematography and architectural modeling. Optimizing 3D images is critical to achieving realistic scenes without sacrificing performance.

3D graphics are actively used in architectural modeling, medicine and scientific research, where visualization is of key importance. For these areas, it is important to provide the most realistic images without losing quality during optimization. Modern optimization algorithms, in particular texture and polygon compression methods, allow you to achieve this balance. This significantly improves the user experience and increases the efficiency of the work of specialists in various fields.

Artificial intelligence and machine learning also play an important role in improving 3D graphics optimization technologies. For example, neural networks are able to automatically identify the least important elements of an image and optimize them without affecting the overall quality. This provides new opportunities for creating high-quality graphic content with minimal resource consumption. 3D graphics image optimization technologies have great potential for development, which makes them an important direction in modern research and development.

Therefore, the relevance of improving the technology of image optimization of 3D graphics is due to the growing requirements for the quality of visualization and the speed of data processing in many areas.

**Analysis of recent research and publications.** In studies [1–3], approaches are proposed to create an adaptive interface of web-based tools for optimizing graphic images. A description of specific algorithms, on the basis of which certain elements of 3D graphics optimization technology can be designed, is presented in works [4, 5]. Studies [6, 7] provide recommendations on the use of 3D graphics to create the interface of web applications and real-time tools for navigating in a virtual environment. Scientific works [8, 9] contain methodological recommendations for substantiating an innovative strategy for the development of information technologies as a basis for further improvement

of 3D graphics optimization technology . Practical recommendations for the use of Workflow, which can be used to optimize 3D graphic images, are given in studies [10, 11].

The analysis of literary sources shows that in the specialized literature there are no methodological recommendations for improving the technology of image optimization of 3D graphics.

**Purpose and task statement.** The aim of the work is to improve the image optimization technology of 3D graphics.

The object of the study is the process of applying the software component to improve the technology of image optimization of 3D graphics.

The subject of research is the technology of image optimization of 3D graphics.

**Presentation of the main research material.** Optimization in 3D graphics is a key aspect of developing any application that uses 3D models, as it directly affects performance and user experience. High polygon counts, textures, and complex lighting effects can put a heavy load on the graphics processing unit (GPU), resulting in slower framerates and lag. To ensure a smooth display of the scene, especially in real time, it is necessary to optimize the objects so that they look realistic, but at the same time do not overload the hardware.

In addition to ensuring performance, optimization is important to reduce the demands on computing resources such as RAM and graphics card memory. This allows for better cross-platform compatibility, including resource-constrained mobile devices. Texture compression, LOD reduction, and polygon model simplification can be used to maintain a high level of visual quality even on weaker devices. This makes optimization critical for developers looking to strike a balance between image quality and accessibility to a wide audience.

The optimization also helps reduce rendering times, which is especially important in industries that require high data processing speeds, such as architectural modeling, simulations, and virtual reality (VR). By reducing the time required to render complex scenes, the optimization allows you to focus on improving detail and interactivity, creating a more realistic and immersive experience for users. Thus, optimization in 3D graphics provides performance, availability and quality, which makes it an integral part of the process of developing visual content.

Optimizing images in 3D graphics consists in reducing the load on hardware resources, while ensuring maximum image quality. This is especially important for real-time, where every delay can negatively affect the user experience. The main aspects to optimize are polygons, textures, lighting and shadows, and shader-based rendering.

Optimization of polygons, or «LOD» (Level of Detail), consists in reducing the number of polygons in objects located at a great distance from the camera. This allows you to significantly reduce the load on the graphics processor (GPU), which is especially important for games and applications with an open world. Modern methods use dynamic displacement algorithms that automatically adapt the level of detail depending on the position of the camera.

Textures take up a significant portion of the memory used when rendering a scene. Using compression methods such as DXT (S3TC), ASTC or the latest formats based on machine learning allows you to reduce the size of textures without losing quality. In addition, the use of texture atlases allows you to avoid additional loading and switching of textures, which speeds up rendering.

Lighting and shaders are important components of 3D scenes that affect the final image quality. Traditional lighting is often replaced by approaches that use global

lighting and physically correct rendering techniques (PBR). Using such techniques as baking lighting or Light Probes, allows you to preserve the quality of lighting effects with minimal computational costs. Shader optimization consists in simplifying complex operations and using a computer buffer (G – buffer) to calculate lighting in real time.

Rendering approaches, such as real-time ray tracing and voxel-based rendering, allow for significant improvements in image quality, but require significant computing resources. To reduce the load on the system, hybrid approaches combining traditional rendering and ray tracing are used. Artificial intelligence algorithms, such as DLSS (Deep Learning Great Sampling) from NVIDIA, which allow you to render images in a lower resolution and increase them without a significant loss of quality.

Machine learning and neural networks are becoming increasingly popular for optimizing 3D images. They allow you to automate processes that previously required significant human involvement, such as creating LOD models, generating normalized maps, and predicting complex lighting effects. Thanks to machine learning, it is possible to achieve optimization of image quality without significantly increasing the load on the hardware.

Although modern optimization methods have greatly improved the quality and performance of 3D images, there are still many challenges. The development of new algorithms and the integration of machine learning into the rendering process require significant computing resources and time to train models. However, with the development of cloud computing and more powerful graphics processors, there are new opportunities to further improve the optimization process.

The main goal of image optimization in 3D graphics is to reduce the load on the graphics processor (GPU) and the central processor (CPU), while maintaining maximum image quality. This allows you to achieve smooth animation, avoid delays and ensure high quality graphics in real time.

A polygonal model is the basis for representing 3D objects. Polygons are usually represented by triangles that are joined to create surfaces. Optimization consists in reducing the number of polygons without losing the detail of objects.

The formula for the area of a triangle based on the coordinates of the three vertices should look like this:

$$S = \frac{1}{2} |(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)|$$

where  $(x_1; y_1)$ ,  $(x_2; y_2)$  and  $(x_3; y_3)$  are the coordinates of the vertices of the triangle .

Algorithms for reducing the number of polygons (mesh simplification), such as Quadric Error Metrics (QEM), which calculate the error between the original and simplified models.

Textures are used to add detail to 3D objects. Reducing the size of textures is an important optimization step, as it allows you to reduce the amount of video memory (VRAM) used.

Texture compression and optimization are important elements in 3D graphics that directly affect rendering performance and memory usage. Textures are two-dimensional images superimposed on the surface of 3D objects to give them a more realistic appearance. They are used to convey characteristics such as color, glossiness, normals, and reflection maps. Because textures are often high-resolution, their volume can significantly exceed the volume of the geometry of the model itself. This creates high requirements for video memory (VRAM), especially when working with large scenes or in real time. Hence the need for texture compression, which allows you to reduce their size without a significant loss of quality.

Texture compression is done using special algorithms such as DXT (S3TC), ASTC and the latest methods that use machine learning to reduce file sizes. For example, the DXT method uses block compression, which reduces texture size while preserving color and alpha channel data.

The texture compression formula looks like this:

$$R = \frac{S_{original}}{S_{compressed}}$$

where  $R$  is the compression ratio,  $S_{original}$  is the size of the initial texture,  $S_{compressed}$  is the size of the compressed texture.

Common compression methods include DXT (S3TC) and ASTC, which use specialized compression algorithms to preserve color data with minimal loss of quality.

For example, if the original size of the texture is 16 MB and the compressed size is 4 MB, the compression ratio is 4, which means a fourfold reduction in size. This significantly reduces memory usage and allows you to store more textures in video memory, improving rendering speed.

Texture optimization also includes the use of texture atlases – large images that combine multiple textures into a single image. This allows you to reduce the number of texture switches during rendering, which has a positive effect on performance, especially in large scenes. An important aspect is the correct placement of textures on the atlas and the minimization of empty space, which can be determined using the texture atlas efficiency formula:

The formula for the effectiveness of using a texture atlas:

$$E_{atlas} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{texture\ i}}{A_{atlas}}$$

where  $E_{atlas}$  is the efficiency of the atlas,  $A_{texture\ i}$  is the area and textures,  $A_{atlas}$  is the area of the entire texture atlas.

High efficiency means that more of the atlas space is used for useful information, minimizing resource wastage.

Compression and optimization are closely related to the mathematical modeling of polygons and the importance of optimization in 3D graphics. Because texture compression reduces the memory load, it frees up resources to handle more complex geometry. Optimized polygons and textures work together to achieve the balance between quality and performance that is critical for applications with high real-time demands, such as gaming and virtual reality (VR). Compression techniques help preserve detail and provide fast access to data, allowing you to achieve realistic rendering of complex scenes without overloading the GPU and maintaining high frame rates.

Lighting significantly affects the display quality of 3D scenes. Realistic lighting is achieved using global lighting (Global Illumination, GI), which takes into account the reflection of light from various surfaces. Physically correct rendering (Physically – Based Rendering, PBR) allows you to model materials that react to light as closely as possible to real ones.

Lighting and shaders are key elements in creating realistic images in 3D graphics. They are responsible for the interaction of light with the surfaces of objects, determining how colors, shadows, reflections and other lighting effects will look. Lighting is based on physical principles such as reflection and refraction of light to create visually believable scenes. At the same time, shaders are used to program these effects on GPU, providing detailed lighting processing for each pixel or vertex. This allows you to maintain a high level of image quality, even in complex scenes.

Lighting should be calculated using the Lambert model (for diffuse lighting):

$$I_{diff} = I_{light} \cdot \max(0, n \cdot l)$$

where  $I_{diff}$  – diffuse light intensity,  $I_{light}$  is the intensity of the light source,  $n$  is the normal vector to the surface,  $l$  is the direction vector to the light source.

For complex scenes, the lighting precalculation technique is used (light baking), which allows you to reduce the load on the system during program execution.

Lighting and shaders are closely related to the optimization of polygons and textures, as the correct use of shaders can significantly reduce the computational complexity of a scene, while still keeping it visually appealing. By using methods like normal maps, developers can reduce the number of polygons without sacrificing detail, which is important for high rendering performance. At the same time, texture compression preserves image quality while reducing memory usage, allowing more efficient use of computing resources for complex lighting effects. Ultimately, optimizing lighting and textures allows you to create more realistic and productive visual scenes, which is critical for applications with high demands on graphics quality and performance.

The improvement of rendering technologies is an important stage in the development of 3D graphics, as it directly affects the quality of scene display and the performance of graphic applications. With the development of hardware and image processing algorithms, new rendering methods appear that allow creating more realistic visual effects. One of these methods is real – time ray tracing (ray tracing), which allows you to accurately simulate the behavior of light, including reflections, refractions and shadows. Unlike traditional rasterization, which renders objects using triangles, ray tracing models the path of each light ray through the scene, providing high realism.

Ray tracing allows you to model the interaction of light with the surfaces of objects, taking into account reflection and refraction. This allows for realistic effects such as reflections and refraction.

The basic ray tracing equation:

$$P(t) = O + tD,$$

where  $P(t)$  is a point on the beam,  $O$  is the starting point (camera),  $D$  is the direction of the beam,  $t$  – parameter that determines the distance from the starting point.

For each pixel on the screen, the path of the ray passing through the scene is calculated, and its interaction with objects is determined, taking into account reflection and refraction. This allows you to create realistic effects such as transparent materials, mirror surfaces and soft shadows.

Hybrid rendering methods combine ray tracing with traditional rasterization methods, allowing you to maintain performance when rendering complex scenes. For example, rasterization can be used to display major objects in a scene, while ray tracing is only used to calculate the effects of global lighting, reflections, or refraction in narrow areas of the scene. This allows you to avoid fully modeling complex light interactions for each pixel and only calculate them when you really need to.

Another modern approach to rendering is voxel – based methods rendering and using deep learning rendering like DLSS (Deep Learning Super Sampling). Voxels, or volumetric pixels, represent 3D space in the form of a regular grid, which simplifies the calculation of lighting and collisions between objects. Voxel rendering can be used to simulate volumetric effects such as fog or smoke. At the same time, machine learning-based technologies such as DLSS enable higher rendering resolution by reproducing high-detail images based on lower-resolution input frames. The formula for estimating the resolution increase in DLSS is as follows:

$$S_{output} = f(S_{low}, \theta).$$

where  $S_{output}$  is the original high-resolution image,  $S_{low}$  – input image with low resolution,  $\theta$  – parameters of the trained model.

This allows you to reduce the load on the GPU while maintaining a high frame rate and image quality.

The improvement of rendering technologies is directly related to the optimization of polygons, textures and lighting, as new methods allow more efficient use of computing resources. For example, thanks to ray tracing and hybrid methods, less detailed polygon meshes and optimized textures can be used, focusing calculations on lighting and reflection. Using machine learning to improve image quality allows you to achieve high resolution without significant memory and power costs. Thus, the latest rendering technologies provide maximum image quality with minimum resource consumption, which is critical for applications with high performance requirements, such as video games and virtual reality.

The use of machine learning (ML) to optimize 3D graphics is becoming more and more common, as it allows automating complex processes and reducing the load on hardware resources. In particular, neural networks help in the processes of image resolution enhancement, texture compression, lighting optimization, and automatic creation of LODs (levels of detail). This allows for high performance and realism without significantly increasing the number of polygons or memory needed to store textures. For example, NVIDIA's Deep Learning Super Sampling (DLSS) technology uses neural networks to reconstruct high-resolution images from low-resolution input frames.

The basic equation for neural network training used in DLSS can be represented as the minimization of the loss function:

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i, \theta))^2,$$

where  $L(\theta)$  is the cost function,  $y_i$  are the real values,  $f(x_i, \theta)$  are the predictions of the neural network,  $x_i$  are the input data,  $\theta$  and are the parameters of the model.

With this approach, the model learns to transform low-resolution images into more detailed versions, allowing it to maintain a high frame rate even in demanding scenes.

Machine learning is also heavily used for texture compression, which is related to the topic of texture and polygon optimization. For example, the use of autoencoders allows you to reduce the size of textures without losing a significant amount of visual information. An autoencoder consists of two parts: an encoder that compresses the input texture to a reduced representation, and a decoder that reconstructs the texture.

Neural networks can be used to predict complex lighting effects or generate high-quality textures from low-resolution samples.

Modern cloud technologies allow performing complex calculations for rendering and optimization on remote servers. This greatly expands the possibilities for developers, providing access to powerful resources without the need to purchase expensive hardware.

Task distribution formula:

$$T_{total} = \frac{T_{task}}{N} + T_{overhead},$$

where  $T_{total}$  is the total execution time,  $T_{task}$  is the execution time of one task,  $N$  is the number of servers,  $T_{overhead}$  is the overhead of task distribution.

Distributed computing allows you to significantly reduce the rendering time of complex scenes.

Mathematical modeling of polygons is the basis for creating three-dimensional objects in 3D graphics. Polygonal meshes consist of a large number of triangles that are combined to form the surfaces of objects. Each triangle is described by the coordinates of its vertices in three-dimensional space, which allows forming complex geometric figures. The mathematical models describing these grids use mathematics to represent space, calculating the normals, areas, and volumes of objects that are necessary for the correct interaction of light with the surface. An important part of this process is understanding how calculations affect system performance, as complex models can significantly slow down rendering.

The optimization of polygon meshes is directly related to the number of polygons that make up the object. The more polygons a model has, the more detailed it looks, but the more computing resources are needed to display it. Therefore, to reduce the load on the graphics processor and reduce the rendering time, developers use optimization techniques, such as reducing the level of detail (Level of Detail, LOD). These methods allow you to automatically change the number of polygons depending on the distance of the object to the camera, leaving a highly detailed model only when it is close to the viewer. Mathematical modeling in this case includes the calculation of curves and simplified geometries that maintain visual integrity with a minimum number of polygons.

Besides LOD, another method is to optimize meshes using simplification algorithms such as Quadric Error Metrics (QEM). QEM allows you to calculate the error that occurs when removing or replacing a triangle vertex with another, and based on this, remove insignificant polygons that do not affect the overall appearance of the object. The formula for calculating the quadratic error allows you to reduce the number of polygons, while maintaining the maximum approximation to the original shape. This approach is particularly useful for objects with a large amount of detail, such as video game characters or architectural elements, where it is important to preserve the aesthetic appeal of the object.

Mathematical modeling of polygons is directly related to the importance of optimization in 3D graphics, since the effective use of resources depends on the correct calculation and application of geometric models. Optimized models allow for high image quality without significant performance loss, which is especially important for applications with high real-time requirements, such as video games and VR/AR applications. The use of mathematical modeling methods in combination with optimization techniques provides a balance between detail and speed, creating the most comfortable and realistic experience for users, while reducing the load on the hardware.

The optimization of polygon meshes is directly related to the number of polygons that make up the object. The more polygons a model has, the more detailed it looks, but the more computing resources are required to display it. Therefore, to reduce the load on the graphics processor and reduce the rendering time, developers use optimization techniques, such as reducing the level of detail (Level of Detail, LOD). These methods allow you to automatically change the number of polygons depending on the distance of the object to the camera, leaving a highly detailed model only when it is close to the viewer.

An important aspect of such algorithms is the calculation of the visible area of the object:

$$A_{visible} = A_{model} \cdot \cos(\theta),$$

where  $A_{model}$  is the area of the object,  $\theta$  is the angle between the normal to the surface of the object and the direction to the camera.

Besides LOD, another method is to optimize meshes using simplification algorithms such as Quadric Error Metrics ( QEM ). QEM allows you to calculate the error that



occurs when removing or replacing a triangle vertex with another, and based on this, remove insignificant polygons that do not affect the overall appearance of the object. The quadratic error formula for the vertex  $v$  has the form:

The formula for the quadratic error for a vertex is as follows:

$$Q(v) = v^T Q_v v,$$

where  $Q(v)$  is the error matrix describing the surface distortion when simplified, and are  $v$  the coordinates of the vertex.

By calculating this error for each vertex, it is possible to determine which vertices can be removed or moved with minimal loss of geometric accuracy.

Mathematical modeling of polygons is directly related to the importance of optimization in 3D graphics, since the effective use of resources depends on the correct calculation and application of geometric models. Optimized models allow for high image quality without significant performance loss, which is especially important for applications with high real-time requirements, such as video games and VR/AR applications. The use of mathematical modeling methods, such as the calculation of the area of triangles and the use of error metrics, in combination with optimization techniques provides a balance between detail and speed, creating the most comfortable and realistic experience for users, while reducing the load on the hardware.

Distributed computing and cloud technologies play an important role in modern 3D graphics, as they allow complex calculations to be performed for rendering and processing of large volumes of data on remote servers, reducing local hardware requirements. This is especially true for resource-intensive tasks, such as rendering photorealistic scenes with ray tracing, simulating global lighting, and processing high-resolution textures. Distributed systems allow you to divide such tasks into several nodes that perform their parts of work in parallel, significantly speeding up the rendering process. This enables high performance and scalability, which is important for large animation studios, game companies and architectural renderings.

Cloud technologies such as Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP) and Microsoft Azure, allow you to use powerful GPUs for distributed rendering in a remote environment. This allows small teams or individual developers to have access to powerful computing resources without investing in expensive hardware. For example, you can run physically correct rendering simulations or perform ray tracing on GPU – enabled virtual machines.

The high computational demands of ray tracing and machine learning methods can be reduced by distributed computing, which allows processing large amounts of data in parallel. For example, creating LODs (levels of detail) for a large number of models or generating highly detailed textures can be performed on several servers at the same time, which significantly speeds up the process. Cloud technologies also allow textures to be stored in high resolution and synchronized with local machines, ensuring optimal access to resources when rendering complex scenes. This allows developers to achieve high rendering quality by efficiently using available resources.

**Conclusions.** Thus, image optimization in 3D graphics is an important aspect of the modern digital industry. The use of advanced methods, such as texture compression, dynamic change of detail levels, hybrid rendering methods and machine learning, allows you to achieve high quality images with reduced hardware load. Further improvements in these technologies will help create even more realistic and immersive visual worlds for users.

The scientific result of the research is an improved technology for image optimization of 3D graphics.

The practical result of the work is recommendations regarding the optimization of 3D graphics images.

A further direction of research can be the assessment of the effectiveness of using software tools for optimizing images of 3D graphics.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Gu C., Lu X., Zhang C. Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling. *Pattern Recognition* . Vol. 129. R r . 771-774, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.108716>
2. Starkova O., Bondarenko D., Hrabovskyi Y. Providing software support for economic analysis. *Technology Audit and Production Reserves*, 2023, No. 5 (2 (73)), pp. 34–39.
3. Hrabovskyi Y., Bondarenko D., Ushakova I. Usage of adaptive design technologies for the design of a web application for analysis of the efficiency of solar panels. Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: Technical Sciences, 2024, Vol. 35 (74), No. 1, pp. 118-126.
4. Joern B., Peter C. Foresight and Design: New Support for Strategic Decision Making, She Ji. *The Journal of Design, Economics, and Innovation* . No. 6(3). pp. 408-432, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.07.002>
5. Martin R. Twenty challenges for innovation studies . *Science and Public Policy*, 2016, No. 43(3), pp. 432–450.
6. Hrabovskyi Y., Bondarenko D., Kobzev I. Improving the technology for constructing a software tool to determine the similarity of raster graphic images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* . 2024. No. 1(2 (127)). pp. 16–25. DOI : <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298744>
7. Khoroshevska I., Khoroshevskyi O., Hrabovskyi Y., Lukyanova V., Zhytlova I. Development of a multimedia training course for user self– development. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* . 2024. No. 2 (2 (128)). pp. 48–63.
8. Hood N. *Quality in MOOCs: Surveying the terrain*. Burnaby: Commonwealth of Learning, 2016, 40 p.
9. Hrabovskyi Y., Kots H., Szymczyk K. Justification of the innovative strategy of information technology implementation for the implementation of multimedia publishing business projects. *Proceedings on Engineering Sciences* , 2022. No. 4(4). pp. 467–480. DOI: <https://doi.org/10.24874/PES04.04.008>
10. Ushakova I., Hrabovskyi Ye. Methodology for developing an information site with Workflow support for publishing articles. *Development management*. 2022. No. 20(3). Pr. 20–28. DOI: [10.57111/devt.20\(3\).2022.20-28](https://doi.org/10.57111/devt.20(3).2022.20-28)
11. Ushakova I., Hrabovskyi Y., Bondarenko D. Modeling and selection of a distance learning system for a higher education institution based on the method of hierarchy analysis using the DSS. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: Technical sciences* . 2023. Vol. 34(73). No. 2. P. 246-253.

#### REFERENCES:

1. Gu, C., Lu, X., Zhang, C. (2022) Example-based color transfer with Gaussian mixture modeling. *Pattern Recognition*, 129, 771-774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.108716>
2. Starkova, O., Bondarenko, D., Hrabovskyi, Y. (2023) Providing software support for economic analysis. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (73)), 34–39.
3. Hrabovskyi, Y., Bondarenko, D., Ushakova, I. (2024) Usage of adaptive design technologies for the design of a web application for analysis of the efficiency of solar panels. *Vcheni zapiski TNU named after V.I. Vernadskogo. Series: Tekhnichni nauki – Academic notes of V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical sciences*, 35 (74), 1, 118–126 [in English].

4. Joern, B., Peter, C. (2020) Foresight and Design: New Support for Strategic Decision Making, She Ji. *The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 6(3), 408–432 . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.07.002>
  5. Martin, R. (2016) Twenty challenges for innovation studies. *Science and Public Policy*, 43(3), 432-450.
  6. Hrabovskyi, Y., Bondarenko, D., Kobzev, I. (2024). Improving the technology for constructing a software tool to determine the similarity of raster graphic images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2 (127), 16–25. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298744>
  7. Khoroshevska, I., Khoroshevskiy, O., Hrabovskyi, Y., Lukyanova, V., Zhytlova, I. (2024) Development of a multimedia training course for user self-development. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2 (128), 48–63
  8. Hood, N. (2016) *Quality in MOOCs: Surveying the terrain*. Burnaby: Commonwealth of Learning, 40.
  9. Hrabovskyi, Y., Kots, H., Szymczyk, K. (2022) Justification of the innovative strategy of information technology implementation for the implementation of multimedia publishing business projects. *Proceedings on Engineering Sciences* , 4(4), 467–480. DOI: <https://doi.org/10.24874/PES04.04.008>
  10. Ushakova, I., Hrabovskyi, Ye. (2022) Methodology for developing an information site with Workflow support for publishing articles. *Development management*, 20(3), 20–28. DOI: [10.57111/devt.20\(3\).2022.20-28](https://doi.org/10.57111/devt.20(3).2022.20-28)
  11. Ushakova, I., Hrabovskyi, Y., Bondarenko, D. (2023) Modeling and selection of a distance learning system for a higher education institution based on the method of hierarchy analysis using the DSS. *Vcheni zapiski TNU named after V.I. Vernadskogo. Series: Tekhnichni nauki – Academic notes of V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical sciences*, 34(73), 2, 246–253 [in English].
-

УДК 004.8:336.76:519.866

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.4>

## ВПРОВАДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АЛГОРИТМІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДИНАМІКИ ЦІН ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ

Іваненко В. А. – аспірант

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ORCID ID: 0000-0002-1212-898X

Проведено аналіз особливостей впровадження нейромережеских алгоритмів при прогнозуванні динаміки цін фінансових активів. Зазначено, що впровадження методів автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів включає у себе постановку технічного завдання, пошук критеріїв, що вказують на вирішення поставленої задачі, оцінку статистичних показників, що вказують на обсяги даних фінансової аналітики, а також вибір і оптимізацію актуальних засобів системи машинного аналізу. Для визначення ефективності системи машинного аналізу даних фінансової аналітики було проведено її порівняння з лінійними моделями на основі методики оцінки капітальних активів, що базується на однопіриодичній інвестиційній схемі, концепції уникнення ризику з боку більшості інвесторів, а також припущенні про нульові транзакційні витрати і відсутність асиметрії інформації. Зазначено переваги застосування програмних пакетів ймовірнісного прогнозування, «NGBoost», як то визначення розподілу ймовірності для результатів, що дозволяє отримувати повноцінний розподіл можливих значень, вибір користувачем типу ймовірнісного розподілу для побудови моделі, що дає додаткову гнучкість для застосування в різних задачах та оптимізація ймовірнісних моделей методом натурального градієнта. Для оцінки продуктивності нейромережеских алгоритмів при автоматизації фінансової аналітики та прогнозування до аналізу були включені моделі «NGBoost», «XGBoost», «CatBoost», «LightGBM», неглибока багатошарова нейронна мережа прямого поширення та глибока багатошарова нейронна мережа прямого поширення, причому для кожної з нейромережеских архітектур було проведено оптимізацію гіперпараметрів. Зазначено, що вибір наведених моделей є показовим для застосування у фінансовій аналітиці. Поєднання градієнтного бустингу та нейромереж забезпечує широкий спектр методів для вирішення завдань прогнозування цін активів, оцінки ризиків і точного передбачення майбутніх фінансових показників. Водночас, використання гіперпараметричної оптимізації дає змогу налаштувати нейромережесві моделі для досягнення максимальної точності, що є критично важливим для забезпечення конкурентних переваг у фінансових ринках. Розглянуто особливості впровадження зазначеної системи оцінки з метою оптимізації нейромережеских алгоритмів для сучасних нейромережеских архітектур, як то моделі GRU, GAT і «Informer».

**Ключові слова:** машинний аналіз, нейромережева архітектура, фінансові активи, оцінка капітальних активів, кероване навчання, ймовірнісне прогнозування, гіперпараметрична оптимізація.

### **Ivanenko V. A. Implementation of neural network algorithms in forecasting the price dynamics of financial assets**

The analysis of the implementation of neural network algorithms in forecasting the price dynamics of financial assets has been conducted. It was noted that the implementation of automated methods for predicting financial asset prices includes the formulation of technical tasks, the search for criteria that indicate the solution to the task, the evaluation of statistical indicators pointing to the volume of financial data, as well as the selection and optimization of relevant machine analysis tools. To determine the effectiveness of the financial data machine analysis system, it was compared with linear models based on the capital asset pricing model (CAPM), which is founded on a single-period investment scheme, the risk-averse nature of most investors, and the assumption of zero transaction costs and no information asymmetry. The advantages of the probabilistic forecasting software package «NGBoost» were highlighted, including the determination of probability distributions for outcomes, which allows for a full distribution of possible values, the flexibility for users to choose the type of probabilistic distribution for model building, and the optimization of probabilistic models using natural gradient descent, ensuring a more stable training process when working with complex distributions. To evaluate

*the performance of neural network algorithms in automating financial analytics and forecasting, models such as «NGBoost», «XGBoost», «CatBoost», «LightGBM», shallow feed-forward neural networks, and deep feed-forward neural networks were included in the analysis, with hyperparameter optimization conducted for each neural network architecture. It was noted that the selection of these models is indicative for application in financial analytics. The combination of gradient boosting and neural networks provides a wide range of methods for solving tasks related to asset price forecasting, risk assessment, and accurate prediction of future financial indicators. At the same time, the use of hyperparameter optimization allows neural network models to be tuned to achieve maximum accuracy, which is critically important for ensuring competitive advantages in financial markets. The specific features of implementing this evaluation system have been examined to optimize neural network algorithms for modern neural network architectures, such as GRU, GAT, and Informer models.*

**Key words:** machine analysis, neural network architecture, financial assets, capital asset pricing, supervised learning, probabilistic forecasting, hyperparameter optimization.

**Вступ.** Прогнозування динаміки цін фінансових активів на міжнародних фінансових ринках залишається однією з найбільш складних та актуальних задач, вирішення якої складає інтерес як при формуванні та розширенні інструментарію у галузі кількісного фінансування, так і з точки зору фундаментальної науки [1, 2]. Впровадження методів автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів при цьому включає у себе визначення таких аспектів як постановка завдання дослідження, пошук критеріїв, що вказують на вирішення поставленої задачі, оцінка статистичних показників, що вказують на обсяг масиву даних фінансової аналітики, а також вибір і оптимізація засобів системи машинного аналізу. Варто підкреслити, що перевага методів машинного аналізу даних фінансової аналітики значною мірою полягає саме у здатності працювати з обробки великих масивів неструктурованих даних [3, 4], зокрема, мультимедійних даних з широкого набору мережевих джерел, що відповідає концепції «альтернативних даних» (Alternative Data; AD). Дослідники вказують на широкий спектр джерел альтернативних даних, які використовуються в фінансовій аналітиці. Зазначається, що альтернативні дані виходять за межі традиційних фінансових показників, як то доходи чи звіти про прибутки, і включають такі фактори, як поведінка споживачів представлена у соціальних медіа і мережевих додатках електронної комерції [5, 6], динаміку забудови і дорожній трафік, представлені у супутниковими знімками [7, 8], тощо.

Як показав *аналіз наукових досліджень* присвячених проблемам автоматизації процедур фінансової аналітики [1–8] річна вартість засобів машинного навчання у банківській та фінансовій сферах вже наприкінці 2010-х років досягла рівня 5,2% світових доходів [9, 10]. Продуктивність алгоритму машинного навчання визначається здатністю здатним виявляти нелінійні взаємозв'язки з широкого спектра джерел даних [11], а отже, розробка відповідної системи прогнозування має включати у себе наступні аналіз наступних категорій:

1. Оцінка складності і нелінійності фінансової аналітики. Фінансові ринки характеризуються особливою динамікою, яка не може бути описана на рівні лінійної моделі і залежить від численних факторів [11].

2. Визначення особливостей Застосування нейронних мереж глибинного навчання (Deep Neural Networks, DNN). Алгоритми на основі відповідного класу нейромережевої архітектури характеризуються здатністю виявляти складні патерни і залежності великих масивах неструктурованих даних незалежно від формату їх представлення [12].

3. Порівняння продуктивності нейромережевих алгоритмів автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів у порівнянні з традиційними

методами оцінки капітальних активів (Capital Asset Pricing Model; CAPM), що базуються на математичних моделях, у яких використовуються лінійні зв'язки між цільовими функціями і аргументами цільових функцій [13].

Дослідження останніх десяти років демонструють високу ефективність алгоритмів машинного навчання для прогнозування цін на активи в порівнянні з моделями, розробленими в рамках традиційної статистики та фінансів [14–17], зокрема, при роботі з екзотичними деривативами, як то енергетичні [18] і крипто-валютні [19, 20].

Слід зазначити, тим не менш, що для підготовки цілісної методології автоматизації фінансової аналітики та прогнозування необхідно узагальнити підходи, що використовуються у окремих галузях фінансової аналітики, що розглядається як *невирішена частина загального дослідження*. Таким чином, *метою роботи* стала побудова комплексної методики організації алгоритмів машинного аналізу великих масивів даних із подальшим порівнянням їх із наявним інструментарієм CAPM на основі цільових показників.

**Постановка завдання автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів.** У відповідності до проведеного аналізу можна вказати, що постановка завдання дослідження включає у себе визначення наступних аспектів, що пов'язані з вирішенням завдання автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів:

1. Пошук критеріїв, що однозначно вказують на вирішення поставленої задачі та оптимізацію запропонованого підходу. Важливість зазначеного пункту пов'язана з тим, що прогнозування цін на фінансові активи як інструмент фінансової аналітики, у загальному випадку не має однозначних рішень на аналітичному рівні через високу волатильність ринків та вплив великої кількості факторів, що не можуть бути цілковито включені у аналіз.

2. Визначення на рівні статистичних показників обсягу поточних даних, що підлягають аналізу. Використання великих об'ємів даних (концепція «Big Data») суттєво розширює можливості для кращого аналізу фінансових ринків, але водночас ставить виклик щодо навантаження на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи, що виконує їх обробку.

3. Вибір програмних і нейромережових алгоритмів системи машинного аналізу, на основі яких проводиться автоматизація процедури прогнозування цін фінансових активів. Актуалізація засобів машинного навчання у галузі фінансової аналітики пов'язана з можливістю обробки великих масивів даними, що вказують на нелінійні залежності, що призводить до кардинальних змін у практиці інвестиційних стратегій.

Узагальнена схема постановки завдання автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів у відповідності до наведеного переліку актуальних категорій представлена на рис. 1.

Для визначення ефективності системи машинного аналізу даних фінансової аналітики необхідно також провести узагальнення лінійної моделі, що лежить у основі CAPM, що базується на наступних підходах:

– одноперіодична інвестиційна модель, яка включає у себе припущення, що інвестиційні рішення проводяться здебільше на короткостроковій основі, без врахування довгострокової стратегії інвесторів, що дозволяє суттєво спростити процедуру прогнозування;

– концепція уникнення ризику з боку більшості інвесторів, що у ряді випадків призводить до великої кількості викидів при проведенні фінансової аналітики, що зменшує адекватність прогнозування;

- припущення про нульові трансакційні витрати, яке у ряді випадків не відповідає актуальним даним фінансової аналітики, що частково знецінює актуальний інструментарій системи прогнозування;
- припущення про відсутність асиметрії інформації, що відповідає представленню про рівний доступ до актуальних даних у режимі реального часу всіх інвесторів, що вважається ідеалістичним, оскільки в реальності інформація може бути розподілена нерівномірно між учасниками ринку, що призводить до дисбалансу.

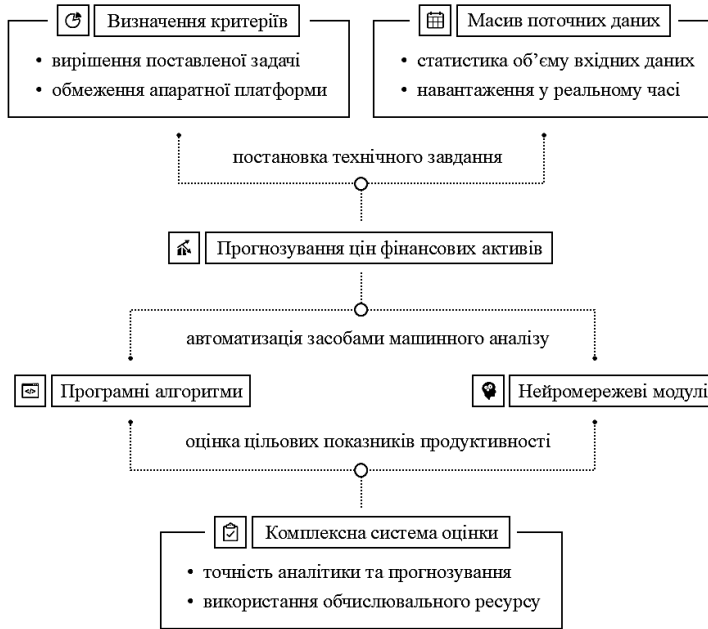


Рис. 1. Узагальнена схема проектування та оптимізації системи прогнозування цін фінансових активів

Рівноважне співвідношення CAPM між очікуваною прибутковістю інвестиції  $i$  набору  $i \in [1; I]$  та її ринковим бета-коефіцієнтом  $\beta_i$  визначається наступним чином:

$$ER(r_i) = r_F + \beta_i \cdot (ER(r_M) - r_F), \quad (1)$$

де функції  $ER(r_i)$  і  $ER(r_M)$  визначають очікувану прибутковість активу  $i$  та очікувана прибутковість ринкового портфеля, відповідно, причому  $r_F$  становить безризикову ставку прибутковості [21]. Таким чином, різниця  $(ER(r_M) - r_F)$  визначає так звану ринкову премію за ризик (Market Risk Premium; MRP). У свою чергу, бета-коефіцієнт  $\beta_i$  є мірою того, наскільки актив  $i$  чутливий до змін на ринку:

$$\begin{cases} \beta_i > 1 \text{ визначає, що актив більш волатильний, ніж ринок} \\ \beta_i < 1 \text{ визначає, що актив менш волатильний, ніж ринок} \end{cases} \quad (2)$$

Відповідний показник визначається через коваріацію між дохідністю активу  $i$  та дохідністю ринкового портфеля:

$$\beta_i = \frac{\text{cov}(r_i - r_M)}{\sigma_M^2}, \quad (3)$$

де  $\sigma_M^2$  є дисперсією дохідності ринкового портфеля. Коваріація  $cov(r_i - r_M)$  показує, як дохідність активу  $i$  змінюється разом із дохідністю ринку. Якщо коваріація позитивна, це означає, що актив схильний зростати разом із ринком; якщо негативна – актив зростає, коли ринок падає, і навпаки. Дисперсія  $\sigma_M^2$  є мірою волатильності дохідності ринку, вона показує, наскільки сильно дохідність ринкового портфеля відхиляється від свого середнього значення.

Опитування близько 4.500 міжнародних компаній продемонструвало, що CAPM є однією з найпопулярніших моделей, яку використовують фінансові директори компаній (Chief Financial Officers, CFO) для розрахунку вартості власного капіталу [21]. На її основі визначаються такі ключові показники як середньозважена вартість капіталу (Weighted Average Cost of Capital, WACC) як ставки дисконтування, що дозволяє визначити теперішню вартість майбутніх грошових потоків компанії та модель DCF (Discounted Cash Flow; DCF) є стандартним інструментом для оцінки вартості компанії на основі прогнозованих грошових потоків.

**Вибір та оптимізація гіперпараметрів нейромережевої моделі для автоматизації фінансової аналітики і прогнозування.** Впровадження нейромережевої архітектури при аналізі великих масивів даних у рамках автоматизації процедур фінансової аналітики і прогнозування надає можливість вказати на переваги алгоритмів керованого навчання (Supervised Learning, SL), що базуються на моделі дерева ухвалення рішень (Decision Tree, DT) або ансамблів дерев ухвалення рішень, як то випадкові ліси та градієнтні бустингові дерева [22]. При цьому для оцінки продуктивності нейромережевих алгоритмів у порівнянні з лінійними моделями CAPM використовувались програмні пакети ймовірнісного прогнозування [23], зокрема «NGBoost», що характеризується рядом переваг у порівнянні з аналогами (XGBoost, LightGBM та CatBoost):

- на відміну від традиційних реалізацій градієнтного бустингу, NGBoost прогнозує не лише середнє значення, а й дає розподіл імовірності для результатів, що дозволяє отримувати не просто «точкові» прогнози, а повноцінний розподіл можливих значень;

- при проведенні статистичного аналізу інструментарій NGBoost дозволяє обирати тип ймовірнісного розподілу для побудови моделі, що дає додаткову гнучкість для застосування в різних задачах;

- пакет використовує метод натурального градієнта, що є більш ефективним при оптимізації ймовірнісних моделей, забезпечує більш стабільний процес навчання при роботі зі складними розподілами.

Таким чином, програмний пакет «NGBoost» є корисним для задач, де важливі не лише точність прогнозу, а й оцінка рівня невизначеності, як то у фінансовому моделюванні, де прогнозування розподілу ризиків може допомогти приймати кращі рішення в умовах невизначеності.

Для кожної моделі, що підлягала аналізу, алгоритм машинного навчання характеризувався унікальним набором початкових параметрів (гіперпараметрів), що визначали його продуктивність. Автоматизація процесів оптимізації гіперпараметрів проводилась з застосуванням байесових алгоритмів з попереднім визначенням простору пошуку для кожного гіперпараметру моделі [24]. Порівняння продуктивності нейромережевих алгоритмів та програмних алгоритмів на основі лінійної моделі CAPM, таким чином, проводилось після застосування байесової оптимізації гіперпараметрів у відповідності до даних отриманих Центром передових обчислювальних досліджень Оксфордського університету (Advance Research Computing, ARC), що представлені у рамках відповідного дослідження [21]. Аналіз проводився для наступних моделей:



1. Модель «NGBoost» [23]. Алгоритм оптимізації: пошук по сітці (Grid Search; GS). Оптимізовані гіперпараметри: кількість оцінювачів дерев.

2. Модель «XGBoost» [25]. Алгоритм оптимізації: модель «HyperOpt» на основі дерева Парцена для 50 ітерацій. Оптимізовані гіперпараметри: кількість оцінювачів дерев, максимальна глибина кожного дерева, швидкість навчання, параметри регуляризації і параметри вибірки даних.

3. Модель «CatBoost» [26]. Алгоритм оптимізації: модель «HyperOpt» на основі дерева Парцена для 50 ітерацій. Оптимізовані гіперпараметри: кількість оцінювачів дерев, максимальна глибина кожного дерева, швидкість навчання, параметри регуляризації і параметри вибірки даних.

4. Модель «LightGBM» [27]. Алгоритм оптимізації: модель «HyperOpt» на основі дерева Парцена для 50 ітерацій. Оптимізовані гіперпараметри: кількість оцінювачів дерев, максимальна глибина кожного дерева, швидкість навчання, параметри регуляризації і параметри вибірки даних.

Неглибока багатошарова нейронна мережа прямого поширення (Shallow Feed-Forward Neural Network, Shallow FFNN) [25]. Алгоритм оптимізації: модель «HyperOpt» на основі дерева Парцена для 100 ітерацій. Оптимізовані гіперпараметри: кількість прихованих шарів  $n \in [1; 2]$ , кількість вузлів на кожному прихованому шарі  $m \in [256; 1024]$ , конфігурації нормалізації пакетів для кожного прихованого шару, параметри регуляризації та конфігурації активаційної функції для кожного прихованого шару.

Глибока багатошарова нейронна мережа (Deep Feed-Forward Neural Network, Deep FFNN) [25]. Алгоритм оптимізації: модель «HyperOpt» на основі дерева Парцена для 100 ітерацій. Оптимізовані гіперпараметри: кількість прихованих шарів, де  $n \in [3; 5]$ , кількість вузлів на кожному прихованому шарі, де  $m \in [256; 1024]$ , конфігурації нормалізації пакетів для кожного прихованого шару, параметри регуляризації та конфігурації активаційної функції для кожного прихованого шару.

Вибір наведених моделей є показовим для застосування у фінансовій аналітиці та прогнозуванні, оскільки вони представляють найсучасніші підходи в машинному навчанні, що дозволяють працювати з великими обсягами даних і складними залежностями. Поєднання градієнтного бустингу («NGBoost», «XGBoost», «CatBoost», «LightGBM») та нейронних мереж («Shallow FNN», «Deep FNN») забезпечує широкий спектр методів для вирішення завдань прогнозування цін активів, оцінки ризиків і точного передбачення майбутніх фінансових показників. Використання гіперпараметричної оптимізації, такої як «Grid Search» та «HyperOpt», дає змогу налаштовувати моделі для досягнення максимальної точності, що є критично важливим для забезпечення конкурентних переваг у фінансових ринках.

**Оцінка ефективності алгоритмів машинного навчання при прогнозуванні цін фінансових активів.** Оцінка продуктивності алгоритмів машинного аналізу проводилась на основі даних відкритих торгів акцій США протягом 1983–2019 рр., за даними хмарного сервісу «Wharton Research Data Services». Задачею алгоритмів машинного аналізу та програмних алгоритмів, що базуються на лінійній моделі CAPM було прогнозування річної прибутковості акцій на основі вхідних масивів даних щодо щомісячних та річних цін активів, фінансових звітів компаній, а також найбільш вагомих макроекономічних факторів.

Показником ефективності для всіх представлених моделей алгоритмів машинного аналізу та програмних алгоритмів, що базуються на лінійній моделі CAPM виступало значення середньоквадратичного відхилення (Mean Squared Deviation,

MSD), що є найбільш популярною метрикою для оцінки точності прогнозування. MSD обчислює середнє значення квадратів різниць між прогнозованими та фактичними значеннями, що дозволяє кількісно оцінити, наскільки точно модель передбачає значення у порівнянні з реальними даними. Моделі з меншим значенням MSD забезпечують кращу відповідність прогнозів до фактичних даних, що робить цю метрику критично важливою для оцінки моделей, які прогнозують фінансові показники. На математичному рівні MSD розраховується наступним чином:

$$MSD(PAR-AAR) = \frac{\sum_{k=1}^K (PAR_k - AAR_k)^2}{K}, \quad (4)$$

де множини  $\{PAR_i\}$  та  $\{AAR_i\}$  представляють собою прогнозовану річну прибутковість та фактичну річну прибутковість, відповідно, а  $k \in [1; K]$  – повний набір спостережень, що виконувались у рамках прогнозування.

Результати дослідження представлені на рис. 2 демонструють, що методи машинного навчання значно покращують продуктивність прогнозування цін фінансових активів у порівнянні з класичною моделлю CAPM. Окремо можна відзначити переваги у прогнозуванні на основі архітектури глибокої нейромережі прямого поширення у порівнянні з неглибокою, що вказує на актуальні підходи для подальшої оптимізації системи прогнозування.

Також згідно з представленими результатами серед усіх моделей найкращі показники точності прогнозування мають «Catboost» і «XGBoost», які показали найменше значення MSE. Переваги зазначених моделей полягають у специфіці роботи з категорійними ознаками (Catboost оптимізований для обробки категорійних даних без попередньої трансформації), масштабованості для роботи з великими масивами даних, гнучкістю у налаштуванні параметрів, що надає можливість уникати перенавчання завдяки використанню регуляризаційних параметрів, а також ефективній роботі з розрідженими і даними, що може бракувати простішим моделям, як то «NGBoost».

**Впровадження системи оцінки ефективності алгоритмів машинного навчання для сучасних моделей нейромережевої архітектури.** Представлені моделі алгоритмів машинного навчання у рамках дослідження розглядаються як цілісний набір модельних об'єктів, що були використані для впровадження та адаптації системи оцінки засобів автоматизації прогнозування цін фінансових активів. У той же час необхідно вказати на актуальність впровадження та оцінки ефективності сучасних нейромережевих архітектур аналізу великих масивів фінансових даних, що здатні ефективно обробляти складні часові ряди і виявляти нелінійні зв'язки в даних. Таким чином, на даному етапі пропонується включити у аналіз наступні моделі штучних нейронних мереж (Artificial Neural Network; ANN):

– рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks, RNN) з вентилярними рекурентними вузлами (Gated Recurrent Units; GRU), що можна розглядати як спрощену схему довгої-короткочасної пам'яті (Long Short-Term Memory, LSTM) без вихідного вентиля [28, 29];

– графові нейронні мережі (Graph Attention Networks; GAT), які здатні обробляти дані, представлені у формі графів, що надає можливість визначити взаємозв'язки між різними активами [30, 31];

– модель «Informer», побудована на основі архітектури трансформера та адаптована для обробки великих часових рядів [32, 33].

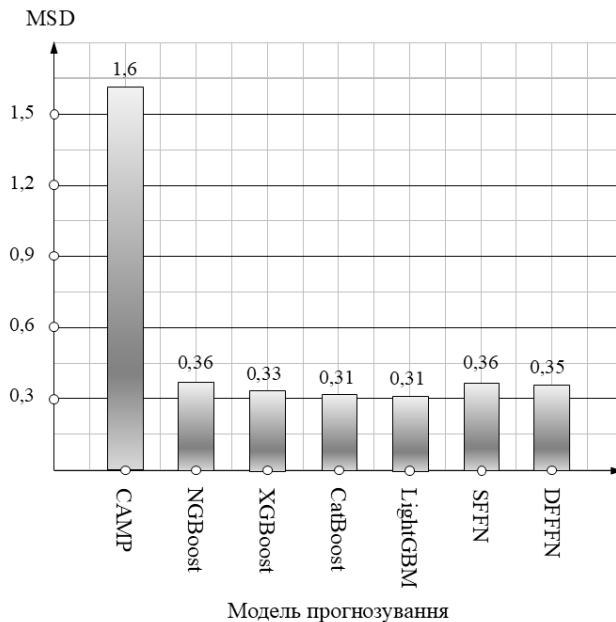


Рис. 2. Середнє квадратичне відхилення при прогнозуванні річної прибутковості акцій алгоритмами машинного аналізу

У основі побудови GRU лежить зменшення обчислювальної складності та вирішення проблеми зникання градієнту (Vanishing Gradient Problem; VGP), що є характерною для класичної архітектури RNN [28, 29]. Завдяки механізмам оновлення стану вентиля (Update Gate; UG) та скидання стану вентиля (Reset Gate; RG) відповідна модель здатна ефективно обробляти довгі часові ряди з утриманням для подальшого аналізу масивів даних, які можуть бути використані при прогнозуванні через виконання на базі UG та RG наступних функцій:

1. UG визначає масив даних, що підлягає збереженню, та масив даних, що має бути оновлено. Це дозволяє утримувати довгострокові залежності та, водночас, адаптуватися до нових даних при аналізі великих часових рядів з мінливими тенденціями.

2. RG визначає масив даних, що може ігноруватись при поточному аналізі. Це допомагає уникнути перенасичення контекстними даними, що сприяє більш точному аналізу короткострокових змін у часових рядах.

Відповідні механізми використовується при впровадженні нейромережевої архітектури для прогнозування фінансових показників, де залежності між попередніми та поточними значеннями можуть бути критичними, що, зокрема, надає можливість для ефективного застосування GRU при моделюванні щомісячних та річних цін акцій на основі послідовних змін макроекономічних факторів. Використання GRU у прогнозуванні річної прибутковості акцій є перспективним завдяки здатності цієї моделі відслідковувати тривалі тренди і, водночас, реагувати на локальні коливання. Механізми UG та RG дозволяють адаптуватися до місячних коливань цін, змін у фінансових звітах і макроекономічних індикаторах, зберігаючи при цьому важливі залежності, які можуть визначати майбутню прибутковість акцій.

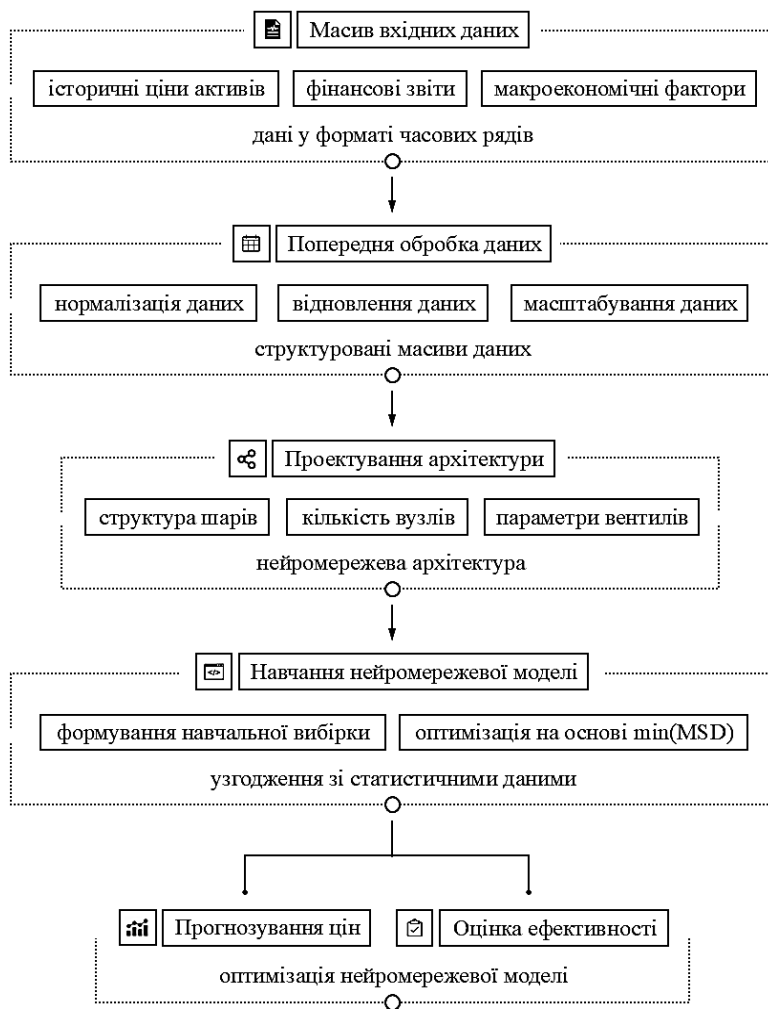


Рис. 3. Діаграма адаптації нейромережевої моделі на основі GRU для прогнозування цін фінансових активів

При цьому модель навчання GRU оптимізується на основі метрики MSD, що лежить у основі даного дослідження. Відповідний показник дозволяє кількісно оцінити, наскільки точно модель передбачає значення у порівнянні з реальними даними. На діаграмі (рис. 3) показана базова схема проектування, налаштування та оптимізації нейромережевої моделі на основі GRU для прогнозування цін фінансових активів.

Аналогічним чином, нейромережеві алгоритми на основі архітектури «Informer» як класу архітектури трансформера також обробляють вхідні дані представлені на основі часових рядів. Алгоритми «Informer» використовують механізм розрідженої самоуваги (Sparse Self-Attention; SSA), що дозволяє швидко обробляти довгі послідовності, знижуючи обчислювальну складність і, відповідно, навантаження на обчислювальний ресурс. Для фінансових даних це означає

можливість аналізувати великі масиви історичних цін масивів з високою точністю. Базова схема адаптації нейромережевої моделі на основі «Informer» для прогнозування цін фінансових активів включає у себе виконання наступних етапів:

1. Формування масиву вхідних даних, що представлені у вигляді часових рядів історичних даних про ціни активів, макроекономічні показники, фінансові звіти.

2. Впровадження механізму SSA шляхом виділення ключових елементів у часових рядах. SSA дозволяє фокусуватися на найважливіших даних, зменшуючи обчислювальну складність.

3. Перетворення набору вхідних даних через застосування кодувальних шарів (Coding Layers; CL) у більш компактний формат, який зберігає важливу інформацію для подальшого прогнозування.

4. Відновлення агрегованих даних та їх трансформація у прогнозовані значення річної прибутковості через застосування декодувальних шарів (Decoding Layers; DL).

5. Прогнозування річної прибутковості через формування прогнозованих значень прибутковості активів з використанням результатів аналізу часових рядів.

Після цього проводиться оцінка ефективності моделі «Informer» на основі метрики MSD з її подальшим коригуванням у разі необхідності.

Нейромережеві алгоритми на основі архітектури GAT надають можливість для обробки масивів даних, що представлені у формі графів. У фінансовому прогнозуванні модель GAT допомагає визначити взаємозв'язки між активами, наприклад, виявляючи вплив ринкових змін на пов'язані компанії чи сектори економіки. Завдяки механізму уваги GAT дозволяє виділяти найбільш важливі зв'язки у графі, присвоюючи їм більшу вагу при розрахунках. Базова схема адаптації нейромережевої моделі на основі GAT для прогнозування цін фінансових активів включає у себе виконання наступних етапів:

1. Створення графу активів (Asset Graph Creation; AGC), вузли якого представляють окремі активи, а зв'язки між вузлами – залежності між активами, як то схожість секторів, кореляція цін або спільні макроекономічні фактори.

2. Впровадження механізму уваги (Attention Mechanism; AM) через розрахунок ваг зв'язків для визначення важливості сусідніх вузлів. Механізм уваги виділяє найбільш значущі зв'язки, посилюючи вплив більш важливих сусідніх вузлів у графі.

3. Агрегація ознак сусідніх вузлів (Neighbor Feature Aggregation; NFA) з урахуванням ваг визначених у відповідності до AM, щоб кожен вузол отримав інформацію від своїх сусідів.

4. Прогнозування річної прибутковості (Prediction Output; PO) на основі агрегованих ознак для кожного вузла моделі GAT.

Після цього проводиться оцінка ефективності моделі GAT на основі метрики MSD з подальшим коригуванням моделі у разі необхідності.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження було проаналізовано особливості впровадження нейромережевих алгоритмів при прогнозуванні динаміки цін фінансових активів. Зазначено, що впровадження методів автоматизації процедури прогнозування цін фінансових активів включає у себе пошук критеріїв, що вказують на вирішення поставленої задачі, оцінку статистичних показників, що вказують на обсяги даних фінансової аналітики, а також вибір і оптимізацію актуальних засобів системи машинного аналізу. Для визначення ефективності системи машинного аналізу даних фінансової аналітики було проведено її порівняння з лінійними моделями на основі оцінки капітальних активів, що базується на одноперіодичній

інвестиційній схемі, концепції уникнення ризику з боку більшості інвесторів, а також припущенні про нульові трансакційні витрати і відсутність асиметрії інформації. Результати дослідження показують, що методи машинного навчання дозволяють кратно збільшити точність прогнозування цін фінансових активів у порівнянні з лінійними моделями SARIM. Розглянуто особливості впровадження зазначеної системи оцінки з метою оптимізації нейромережових алгоритмів для сучасних нейромережових архітектур, як то рекурентні нейронні мережі з вентильними рекурентними вузлами, графові нейронні мережі та модель «Informer», побудована на основі архітектури трансформера для обробки великих часових рядів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Henrique B. M., Sobreiro V. A., Kimura H. Practical machine learning: Forecasting daily financial markets directions. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120840>.
2. Ashtiani M. N., Raahemi B. News-based intelligent prediction of financial markets using text mining and machine learning: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119509>.
3. Monk A., Prins M., Rook D. Rethinking alternative data in institutional investment. *The Journal of Financial Data Science*. 2019. Vol. 1. No. 1. P. 14–31. DOI: <https://doi.org/10.3905/jfds.2019.1.1.014>.
4. Barker A., Monk A., Rook D. Technological disruption and long-term investors: Managing risk and opportunities. *SSRN Electronic Journal*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4741908>.
5. Risk and risk management in the credit card industry / Butaru F., Chen Q., Clark B., et al. *Journal of Banking & Finance*. 2016. Vol. 72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2016.07.015>.
6. Gottfried M. How credit-card data might be distorting retail stocks. *The Wall Street Journal*. 2017. URL: <https://www.wsj.com/articles/how-credit-card-data-might-be-distorting-retail-stocks-1483468912> (last accessed: 29.10.2024).
7. A deep neural network for oil spill semantic segmentation in SAR images / Orfanidis J., Ioannidis K., Avgerinakis K., et al. *ICIP 2018*. 2018. P. 3773–3777. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIP.2018.8451113>.
8. Beyond spatial auto-regressive models: Predicting housing prices with satellite imagery / Bency A., Rallapalli S., Ganti R., et al. *WACV 2017*. 2019. P. 320–329. DOI: <https://doi.org/10.1109/WACV.2017.42>.
9. Buchanan. Artificial intelligence in finance. *The Alan Turing Institute. Apr.* 2019. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2612537>.
10. McKinsey on Payments: Special Edition on Advanced Analytics in Banking / Buehler D'Silva, Fitzpatrick, et al. *Tech. rep.* Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.01504>.
11. Heaton J. B., Polson N. Deep learning for finance: Deep portfolios. *SSRN Electronic Journal*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2838013>.
12. Warin X. Deep learning for efficient frontier calculation in finance. *Journal of Computational Finance*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.21314/jcf.2021.017>.
13. Chen J. M. The intertemporal capital asset pricing model. *Econophysics and Capital Asset Pricing*. 2017. P. 127–138. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63465-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63465-4_7).
14. Kyriakou I., Mousavi P., Nielsen J. P., et al. Machine learning for forecasting excess stock returns – The five-year-view. *Graz Economics Papers 2019–06*. 2019. URL: <https://ideas.repec.org/p/grz/wpaper/2019-06.html> (last accessed: 29.10.2024).
15. Equity2vec / Wu Q., Brinton C. G., Zhang Z., Pizzoferrato A., Liu Z., Cucuringu M. *Proceedings of the Second ACM International Conference on AI in Finance*. 2021. Vol. 79. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1145/3490354.3494409>.

16. A deep learning framework for pricing financial instruments / Wu Q., Zhang Z., Pizzoferrato A., et al. *arXiv.org*. Sept. 2019. Article ID 1909.04497.
17. Gu S., Kelly B. T., Xiu D. Empirical asset pricing via machine learning. *SSRN Electronic Journal*. Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3281018>.
18. An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather derivatives / Cramer S., Kampouridis M., Freitas A. A., Alexandridis A., et al. *Expert Systems with Applications*. 2017. Vol. 85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.029>.
19. Machine learning the cryptocurrency market / Alessandretti L., Bahrawy A., Aiello L. M., Baronchelli A. *SSRN Electronic Journal*. May 2018. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3183792>.
20. Lahmiri S., Bekiros S. Cryptocurrency forecasting with deep learning chaotic neural networks. *Chaos, Solitons and Fractals*. 2019. Vol. 118. P. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2018.11.014>.
21. Ndikum P. Machine learning algorithms for financial asset price forecasting. *ArXiv* 2004.01504v1. 2020. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.01504>.
22. Kelly B. T., Pruitt S., Su Y. Some characteristics are risk exposures, and the rest are irrelevant. *SSRN Electronic Journal*. Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3032013>.
23. Ghahramani Z. Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*. 2015. Vol. 521. No. 7553. P. 452–459. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14541>.
24. Zöllner M. – A., Huber M. F. Benchmark and survey of automated machine learning frameworks. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2021. Vol. 70. P. 409–472. DOI: <https://doi.org/10.1613/jair.1.11854>.
25. Bergstra J., Yamins D., Cox D. Hyperopt: A python library for optimizing the hyperparameters of machine learning algorithms. *Proceedings of the Python in Science Conference*. 2013. P. 13–19. DOI: <https://doi.org/10.25080/majora-8b375195-003>.
26. Ershov V. High performance insights from GPU version CatBoost. *Computer Tools in Education*. 2022. No. 2. P. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-2-59-73>.
27. Sukarsa I. M., Pandika Pinata N. N., Dwi Rusjyanthi N. K., Wisswani N. W. Estimation of gourami supplies using gradient boosting decision tree method of XGBoost. *TEM Journal*. 2021. P. 144–151. DOI: <https://doi.org/10.18421/tem101-17>.
28. Kwak N. W., Lim D. H. Financial time series forecasting using AdaBoost-GRU ensemble model. *Journal of the Korean Data and Information Science Society*. 2021. Vol. 32. No. 2. P. 267–281. DOI: <https://doi.org/10.7465/jkdi.2021.32.2.267>.
29. Liu B., Lai M. Advanced machine learning for financial markets: A PCA-GRU-LSTM approach. *Journal of the Knowledge Economy*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02108-3>.
30. Cheng H., Wang K., Tan X. A link prediction method for Chinese financial event knowledge graph based on graph attention networks and convolutional neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109361>.
31. Graph attention site prediction (GRASP): Identifying druggable binding sites using graph neural networks with attention / Smith Z., Strobel M., Vani B. P., Tiwary P. *bioRxiv*: website. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1101/2023.07.25.550565>.
32. Wu Y. Comparison between Transformer, Informer, Autoformer and non-stationary Transformer in financial market. *Applied and Computational Engineering*. 2023. Vol. 29. No. 1. P. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/29/20230874>.
33. Ojeda C., Artal C., Tejera F. Informer, an information organization Transformer architecture. *Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. 2021. P. 381–389. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010372703810389>.

## REFERENCES:

1. Henrique, B. M., Sobreiro, V. A., & Kimura, H. (2023). Practical machine learning: Forecasting daily financial markets directions. *Expert Systems with Applications*, 233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120840> [In English].
2. Ashtiani, M. N., & Raahemi, B. (2023). News-based intelligent prediction of financial markets using text mining and machine learning: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119509> [In English].
3. Monk, A., Prins, M., & Rook, D. (2019). Rethinking alternative data in institutional investment. *The Journal of Financial Data Science*, 1 (1), 14–31. DOI: <https://doi.org/10.3905/jfds.2019.1.1.014> [In English].
4. Barker, A., Monk, A., & Rook, D. (2024). Technological disruption and long-term investors: Managing risk and opportunities. *SSRN Electronic Journal*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4741908> [In English].
5. Butaru, F., Chen, Q., Clark, B., et al. (2016). Risk and risk management in the credit card industry. *Journal of Banking & Finance*, 72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2016.07.015> [In English].
6. Gottfried, M. (2017). How credit-card data might be distorting retail stocks. *The Wall Street Journal*. Retrieved from <https://www.wsj.com/articles/how-credit-card-data-might-be-distorting-retail-stocks-1483468912> (last accessed: 29.10.2024) [In English].
7. Orfanidis, J., Ioannidis, K., Avgerinakis, K., et al. (2018). A deep neural network for oil spill semantic segmentation in SAR images. *ICIP 2018 – ICIP 2018*, 3773–3777. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIP.2018.8451113> [In English].
8. Bency, A., Rallapalli, S., Ganti, R., et al. (2019). Beyond spatial auto-regressive models: Predicting housing prices with satellite imagery. *WACV 2017 – WACV 2017*, 320–329. DOI: <https://doi.org/10.1109/WACV.2017.42> [In English].
9. Buchanan. (2019, April). Artificial intelligence in finance. *The Alan Turing Institute*. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2612537> [In English].
10. Buehler, D’Silva, Fitzpatrick, et al. (2018, August). McKinsey on Payments: Special Edition on Advanced Analytics in Banking. *Tech. rep.* DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.01504> [In English].
11. Heaton, J. B., & Polson, N. (2016). Deep learning for finance: Deep portfolios. *SSRN Electronic Journal*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2838013> [In English].
12. Warin, X. (2022). Deep learning for efficient frontier calculation in finance. *Journal of Computational Finance*. DOI: <https://doi.org/10.21314/jcf.2021.017> [In English].
13. Chen, J. M. (2017). The intertemporal capital asset pricing model. In *Econophysics and Capital Asset Pricing*, 127–138. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63465-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63465-4_7) [In English].
14. Kyriakou, I., Mousavi, P., Nielsen, J. P., et al. (2019). Machine learning for forecasting excess stock returns – The five-year-view. *Graz Economics Papers 2019–06*. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/grz/wpaper/2019-06.html> (last accessed: 29.10.2024) [In English].
15. Wu, Q., Brinton, C. G., Zhang, Z., Pizzoferrato, A., Liu, Z., & Cucuringu, M. (2021). Equity2vec. *Proceedings of the Second ACM International Conference on AI in Finance*, 79, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1145/3490354.3494409> [In English].
16. Wu, Q., Zhang, Z., Pizzoferrato, A., et al. (2019, September). A deep learning framework for pricing financial instruments. *arXiv.org*, Article ID 1909.04497 [In English].
17. Gu, S., Kelly, B. T., & Xiu, D. (2018, January). Empirical asset pricing via machine learning. *SSRN Electronic Journal*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3281018> [In English].
18. Cramer, S., Kampouridis, M., Freitas, A. A., & Alexandridis, A. (2017). An extensive evaluation of seven machine learning methods for rainfall prediction in weather



derivatives. *Expert Systems with Applications*, 85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.029> [In English].

19. Alessandretti, L., Bahrawy, A., Aiello, L. M., & Baronchelli, A. (2018, May). Machine learning the cryptocurrency market. *SSRN Electronic Journal*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3183792> [In English].

20. Lahmiri, S., & Bekiros, S. (2019). Cryptocurrency forecasting with deep learning chaotic neural networks. *Chaos, Solitons and Fractals*, 118, 35–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2018.11.014> [In English].

21. Ndikum, P. (2020). Machine learning algorithms for financial asset price forecasting. *ArXiv 2004.01504v1*, 1–16. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.01504> [In English].

22. Kelly, B. T., Pruitt, S., & Su, Y. (2017, January). Some characteristics are risk exposures, and the rest are irrelevant. *SSRN Electronic Journal*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3032013> [In English].

23. Ghahramani, Z. (2015). Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*, 521 (7553), 452–459. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14541> [In English].

24. Zöllner, M. – A., & Huber, M. F. (2021). Benchmark and survey of automated machine learning frameworks. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 70, 409–472. DOI: <https://doi.org/10.1613/jair.1.11854> [In English].

25. Bergstra, J., Yamins, D., & Cox, D. (2013). Hyperopt: A python library for optimizing the hyperparameters of machine learning algorithms. *Proceedings of the Python in Science Conference*, 13–19. DOI: <https://doi.org/10.25080/majora-8b375195-003> [In English].

26. Ershov, V. (2022). High performance insights from GPU version CatBoost. *Computer Tools in Education*, (2), 59–73. DOI: <https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-2-59-73> [In English].

27. Sukarsa, I. M., Pandika Pinata, N. N., Dwi Rusjyanti, N. K., & Wisswani, N. W. (2021). Estimation of gourami supplies using gradient boosting decision tree method of XGBoost. *TEM Journal*, 144–151. DOI: <https://doi.org/10.18421/tem101-17> [In English].

28. Kwak, N. W., & Lim, D. H. (2021). Financial time series forecasting using AdaBoost-GRU ensemble model. *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, 32 (2), 267–281. DOI: <https://doi.org/10.7465/jkdi.2021.32.2.267> [In English].

29. Liu, B., & Lai, M. (2024). Advanced machine learning for financial markets: A PCA-GRU-LSTM approach. *Journal of the Knowledge Economy*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02108-3> [In English].

30. Cheng, H., Wang, K., & Tan, X. (2024). A link prediction method for Chinese financial event knowledge graph based on graph attention networks and convolutional neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109361> [In English].

31. Smith, Z., Strobel, M., Vani, B. P., & Tiwary, P. (2023). Graph attention site prediction (GRASP): Identifying druggable binding sites using graph neural networks with attention. *bioRxiv*. DOI: <https://doi.org/10.1101/2023.07.25.550565> [In English].

32. Wu, Y. (2023). Comparison between Transformer, Informer, Autoformer and non-stationary Transformer in financial market. *Applied and Computational Engineering*, 29(1), 68–78. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/29/20230874> [In English].

33. Ojeda, C., Artal, C., & Tejera, F. (2021). Informer, an information organization Transformer architecture. *Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 381–389. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010372703810389> [In English].

UDC 004.8:378

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.5>

## RICK ANALYSIS OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION AND RESEARCH WITH GUIDELINES FOR RESPONSIBLE USE AND ROLE ATTRIBUTION

**Krakovetskyi O. Yu.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Limited Liability Company “Technical University “Metinvest Polytechnic”  
ORCID ID: 0009-0006-9023-0732

**Shevchenko N. Yu.** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Limited Liability Company “Technical University “Metinvest Polytechnic”  
ORCID ID: 0000-0002-3085-710

*The subject of the research is the analysis of the advantages and risks associated with the adoption of generative artificial intelligence (GAI) in education and research, as well as the development of policies for its ethical and responsible use. The objective is to propose recommendations for the attribution of GAI's role in education and research, based on an analysis of the associated risks. The article addresses the following tasks: analyze the benefits of GAI in facilitating personalized and adaptive learning, automating content creation, and accelerating data synthesis for research; identify and categorize risks associated with the use of GAI in higher education, and suggest strategies for mitigating these risks; propose recommendations for ensuring transparency and accountability in the use of GAI-generated content in education and research. The following methods are used: systematic review of current literature on the application of GAI in education and research, comparative analysis of GAI-related practices in academic institutions, and risk categorization based on the potential ethical and practical implications of GAI usage. The research highlights key advantages of GAI, such as enhancing personalized learning experiences, automating the creation of educational materials, and accelerating research through data synthesis. At the same time, it identifies critical risks, including overreliance on GAI, perpetuation of bias, the phenomenon of GAI "hallucinations," and threats to academic integrity. Based on these findings, the article offers a set of recommendations for developing comprehensive policies that govern the ethical use of GAI in higher education. The proposed policies and recommendations provide a foundational framework for universities to develop tailored GAI governance strategies that reflect the specific needs and practices of their educational and research activities. These policies are designed to promote ethical GAI use, ensure transparency, and mitigate potential risks, while maximizing the benefits of GAI technologies. Furthermore, the study emphasizes the importance of continuous evaluation and adaptation of these policies as GAI technologies evolve.*

**Key words:** generative artificial intelligence, generative AI, higher education, personalized learning, academic integrity, AI risks, algorithmic bias, hallucination, educational policy, AI governance.

**Краковецький О. Ю., Шевченко Н. Ю. Аналіз ризиків генеративного штучного інтелекту в освіті та дослідженнях з рекомендаціями щодо відповідального використання та зазначення ролі**

*Об'єктом дослідження є аналіз переваг і ризиків, пов'язаних із впровадженням генеративного штучного інтелекту (ГШІ) в освіті та дослідженнях, а також розробка політик його етичного та відповідального використання. Мета дослідження – розробити рекомендації щодо визначення ролі ГШІ в освіті та дослідженнях на основі аналізу відповідних ризиків. У статті розглядаються наступні завдання: аналіз переваг ГШІ у сприянні персоналізованому та адаптивному навчанню, автоматизації створення контенту та прискоренні синтезу даних для досліджень; визначення та категоризація ризиків, пов'язаних із використанням ГШІ у вищій освіті, та запропонувати стратегії для їх мінімізації; розробити рекомендації для забезпечення прозорості та підзвітності у використанні контенту, створеного ГШІ, у навчальних і дослідницьких процесах.*

*Методи дослідження включають: системний огляд сучасної літератури щодо застосування ГШІ в освіті та дослідженнях, порівняльний аналіз практик використання ГШІ*

*в вищих навчальних закладах, категоризація ризиків з урахуванням потенційних етичних і практичних наслідків використання ГШІ. За результатами дослідження виявлено ключові переваги ГШІ, такі як покращення персоналізованого навчального досвіду, автоматизація створення навчальних матеріалів та прискорення досліджень завдяки синтезу даних. Водночас визначено критичні ризики, серед яких надмірна залежність від ГШІ, відтворення упереджень, феномен «галюцинацій» ГШІ та загроза академічній доброчесності. На основі отриманих результатів запропоновано низку рекомендацій для розробки комплексних політик, що регулюють етичне використання ГШІ у вищій освіті. Рекомендації спрямовані на розробку індивідуальних стратегій управління ГШІ для вишів які відповідають їхнім освітнім і дослідницьким потребам. Політики мають забезпечити етичне використання ГШІ, прозорість і мінімізацію потенційних ризиків, одночасно максимізуючи переваги технологій ГШІ. Окрім того, у дослідженні наголошується на важливості постійної оцінки та адаптації цих політик по мірі розвитку технологій ГШІ.*

**Ключові слова:** генеративний штучний інтелект, ГШІ, вища освіта, персоналізоване навчання, академічна доброчесність, ризики ІІ, алгоритмічні упередження, галюцинації, освітня політика, управління ІІ.

**Problem definition.** In the rapidly evolving landscape of educational technology, GAI tools such as ChatGPT by OpenAI, Microsoft Copilot, Gemini by Google, Claude by Anthropic, Perplexity and others are transforming the way educators and researchers approach the process of learning and content creation. These GAI tools offer a bunch of advantages, including brainstorming, outlining, thesis generation, summarization, paraphrasing, grammar and syntax checks, vocabulary enhancement, collaborative writing, feedback and revision, data visualization, multimodal assignments, accessibility support, as well as reasoning and problem solving. The integration of GAI tools into educational practices not only augments the learning experience but also fosters a culture of innovation and inclusivity. The prohibition of generative artificial intelligence can be compared to the historical bans on calculators or computers, which once sparked similar debates about threats to academic and professional skills. Such a prohibition should be regarded as short-sighted and potentially harmful, as technologies like GAI are tools that can significantly enhance the efficiency of educational and research processes. Instead of a total ban, efforts should be focused on developing ethical and practical frameworks for integrating GAI into educational and scientific activities, which will help avoid misuse and promote the development of critical thinking and creative skills.

However, alongside the benefits, using GAI in education highlights the importance of balancing technology to improve learning outcomes with preserving the core values of academic integrity and independent thinking. As GAI continues to evolve, our strategies for integrating these tools into the learning process must also adapt. It's essential that they support learning and creativity rather than replace intellectual effort.

In this context, defining clear GAI usage policies in education and research is crucial. This paper focuses on developing guidelines to ensure GAI tools complement traditional learning while maintaining academic integrity and fostering independent thought. It aims to provide a framework for the ethical and effective integration of GAI.

**Analysis of recent studies and publications.** The integration of GAI technologies in education and research is a topic of burgeoning interest within the academic community. This field explores the potential benefits and challenges of applying GAI to create personalized learning experiences, generate new content, and enhance research methodologies. The overview of current papers on this subject provides a spectrum of insights into how GAI is shaping the future of education and research, alongside the ethical and practical considerations that accompany its adoption. In the study [1], the author analyzes approaches to preventing plagiarism in scientific publications, maintaining academic integrity in the university environment, and changes in the assessment

of students' academic achievements. The authors formulated a hypothesis regarding the convergence of interests in research ethics and the responsible use of GAI, and provided recommendations for researchers and editorial boards of scientific journals on promoting responsible presentation of research results in the context of the growing accessibility and use of GAI. The article [2] discusses the impact of GAI on higher education, particularly in automating administrative tasks, refining prompt engineering, and disrupting traditional teaching models. The authors advocate for integrating GAI tools like ChatGPT into classrooms to enhance students' critical thinking, creativity, and understanding of complex concepts.

MIT's initiative [3] aims to educate K-12 students about GAI through project-based learning that integrates technical concepts with ethical design. The authors emphasize the importance of computational action and provide resources for a range of GAI-related educational activities to promote a holistic understanding of GAI's societal impact. UCLA [4] provides practical suggestions for integrating GAI into the educational process. The authors recommend assignments that involve GAI for fact-checking, draft generation, and prompt engineering. They emphasize the importance of critical thinking, digital literacy, and responsible use of GAI in education.

Researchers at the University of Chicago developed GAI models that improve predictions of scientific discoveries by simulating the scientific process. The models identify potential discoveries and explore new scientific territories, demonstrating how GAI can augment human intelligence and enhance research capabilities [5]. The article [6] examines the promises and implications of GAI in education, focusing on personalized learning, automated assessment, and the potential ethical issues. The authors propose frameworks for integrating GAI in educational settings to support personalized and adaptive learning experiences while addressing ethical concerns. The authors of [7] explore the transformative role of GAI in scientific research, highlighting examples where GAI has accelerated discoveries in various fields. They discuss the use of GAI in data analysis, predictive modeling, and automating routine research tasks, emphasizing GAI's potential to revolutionize scientific methodologies and innovation. The problem of using artificial intelligence tools in education and research was previously addressed in the publication [8], where the authors emphasized the need to develop policies that regulate the ethical use of GAI technologies.

Summarizing the research findings [8–13] and building upon the idea presented in [8], we will outline the advantages and risks of using generative artificial intelligence in education and research.

Advantages of GAI in education and research:

1. **Personalization and adaptive learning:** GAI technologies have the potential to tailor educational content to the needs of individual learners, enhancing engagement and effectiveness (Zawacki-Richter, Marín, Bond, & Gouverneur, 2019, [9]).

2. **Content creation:** GAI can automate the generation of educational materials, reducing the workload on educators and allowing for more dynamic curriculum development (Swanson, Moran, Lussier, & Fung, 2014, [10]).

3. **Enhancing research with GAI:** GAI facilitates the synthesis of large datasets into coherent summaries, aiding researchers in uncovering novel insights and accelerating the pace of discovery (Jamshidi et al., 2020, [11]).

Risks and ethical considerations:

1. **Dependence on technology:** overreliance on GAI for educational content and assessments may undermine critical thinking skills and reduce face-to-face interactions in learning environments (Arora & Arora, 2022, [12]).

---

2. **Bias and Fairness:** there is an ongoing challenge to ensure GAI technologies do not perpetuate existing biases found in their training data, especially in applications like grading and admissions (Burlina, Joshi, Paul, Pacheco, & Bressler, 2021, [13]).

3. **Hallucination effect:** GAI sometimes produces inaccurate or misleading information, a phenomenon known as "hallucination." This poses a significant risk in both education and research, as such incorrect data can negatively affect the quality of educational materials and research outcomes (Varun Magesh and etc., 2024, [14]).

4. **Academic integrity and authenticity:** the ease of generating text with GAI raises concerns about maintaining academic integrity and the authenticity of student work. GAI can generate complete responses to assignments, which threatens the originality and independence of students' work and complicates instructors' ability to detect plagiarism or misuse of technology (Nelson & Creagh, 2023, [15]).

Upon reviewing the current practices of utilizing artificial intelligence in education [16], it is evident that there remains an ambiguous distinction between the permissible and prohibited use of GAI. Scholars and practitioners largely concur on the necessity of labeling GAI-generated content and acknowledging GAI contributions. However, there is a lack of consensus on the appropriate methodology for implementing these practices. The challenge lies in developing standardized guidelines that ensure transparency and integrity while accommodating the evolving capabilities of GAI technologies in academic settings.

**The article addresses the following tasks:** analyze the benefits of GAI in facilitating personalized and adaptive learning, automating content creation, and accelerating data synthesis for research. Identify and categorize risks associated with the use of GAI in higher education, and suggest strategies for mitigating these risks. Propose recommendations for ensuring transparency and accountability in the use of GAI-generated content in educational and research activities.

**Research results and discussion.** In order to fully understand the potential challenges associated with the adoption of generative artificial intelligence into educational and research environments, it is crucial to examine four key risks: overreliance on technology, the perpetuation of bias and fairness issues, the phenomenon of GAI "hallucination," and concerns regarding academic integrity and authenticity. Each of these risks highlights significant ethical, practical, and educational implications that must be carefully addressed to ensure responsible and effective use of GAI technologies.

**Dependence on technology.** Human dependence on technology can also have a positive effect. A striking example of effective human-AI interaction (technology) is the improvement in the skill level of Go players [17]. The victory of AlphaGo over Lee Sedol in the ancient game of Go is more than a milestone in the field of artificial intelligence; it has become a catalyst for the enhancement of human skills within the game. This landmark event demonstrated that when humans engage with GAI tools, they can extract valuable insights and strategies, thereby elevating their own level of play. The aftermath of the match saw a notable improvement in the performance of Go players worldwide, suggesting that GAI can serve as a sophisticated tutor, pushing human players to refine their abilities and explore new dimensions of the game that were previously uncharted or underappreciated. Such collaboration between human intelligence and artificial intelligence holds the promise of advancing expertise in a symbiotic relationship that benefits from the unique strengths of both.

**Bias and fairness.** Various methods and approaches have been developed to detect and minimize bias and fairness issues in GAI models. Although these methods are not yet widely adopted, the process of implementation is gradually advancing. These

techniques include the use of diverse training datasets, the incorporation of fairness constraints in algorithmic design, and post-hoc analysis of GAI outputs to identify and correct potential biases. As GAI continues to be integrated into educational and research environments, accelerating the adoption of such methods is essential to ensure equitable outcomes and to prevent the perpetuation of existing societal biases.

**Hallucination.** This effect is often difficult to detect, making it critical to develop strategies for identifying, mitigating, or eliminating hallucination in -generated outputs. When creating educational materials, conducting training sessions, or drafting regulatory guidelines, special emphasis should be placed on managing this risk. Strategies include improving the transparency of GAI outputs, incorporating human oversight, and establishing rigorous validation mechanisms to ensure the accuracy and reliability of -generated content.

**Academic integrity and authenticity.** The widespread use of GAI in content generation has ignited discussions about maintaining academic integrity and the authenticity of student work, particularly in the context of research. While essays may benefit from a distinct style that reflects the author's voice, the core value of research does not lie in stylistic elements, but in the strength of its arguments and the quality of the evidence presented. Thus, although proper formatting and presentation are important, the primary emphasis should be placed on the validity, originality, and authenticity of the research itself, rather than on achieving a specific writing style. This approach is essential to ensure that the scientific community continues to prioritize the integrity and credibility of research, even as content generation tools become more accessible. Nonetheless, we recognize that an author's style remains important in conveying unique perspectives, especially in certain types of academic writing.

Obviously, not every use of GAI leads to plagiarism or carries significant risks, so it's important to classify tasks by risk level, e.g., low, medium, high. The classification depends on various factors, including the potential impact on individuals or society, the likelihood of generating false or misleading information, and the sensitivity of the data involved.

In our publication, we analyzed how various universities approach the use of GAI and conducted an analysis of tasks where the use of GAI is either permitted or prohibited [8]. Here's a slightly expanded and nuanced classification that considers the broader implications and applications of these technologies (Table 1).

However, GAI is a rapidly developing technology, and as such, creating an exhaustive list of tasks where its use is either permitted or prohibited may not be practical. Instead, it is more effective to develop guidelines in the form of comprehensive policies that govern its application. Based on the research into permitted and prohibited practices concerning GAI usage, as well as the proposed risk categorization, we recommend the following policies:

1. The use of GAI technologies is **permitted without marking** for “commodity” tasks related to idea generation, conducting experiments, information search, machine translation, styling, grammar checking, data format conversion, and other tasks that do not create new knowledge or meanings. For example, machine translation using DeepL, Google Translate, Bing Translator, ChatGPT, etc., or checking style and grammar using Grammarly does not require marking the use of GAI.

2. The use of GAI technologies is **permitted with marking** in cases where the created content is a completed work or an important part without author adaptation. If a person created content using GAI and published it “as is,” such action requires marking. However, if a person created content that was adapted and stylistically optimized to the

author's style, such use does not require marking and will not be considered a violation of integrity principles.

3. The author must remove any clear signs of GAI use from the final work. Since GAI evolves, the final intellectual product requirements and guidelines should be clearly defined to avoid confusion. If these signs remain, the work won't meet standards, even if GAI use was disclosed, as it could still breach integrity rules.

Table 1

### Risk categorization of using generative artificial intelligence outputs

Risk Level	Direction	Definition	Examples	Rationale
Low to Medium	Text Transformation and Summarization	Operations that involve changing the format, appearance, or length of the text without significantly altering the underlying information or intent, including condensing texts or extracting specific information	Spell checking, grammar correction, summarizing articles, extracting key points or facts	These tasks are generally low risk but can veer into medium risk if the summarization or extraction process omits crucial information or context, leading to potential misunderstandings
Medium to High	Text Enhancement, Augmentation, and Analysis	Enhancing or augmenting text quality for clarity, engagement, or depth, and using GAI for interpreting or analyzing text data to understand, predict, or generate insights	Rewriting for clarity or style, enhancing descriptions, translating languages, sentiment analysis, intent recognition	These operations involve more complex manipulations of text and may introduce biases, alter meanings, or involve subjective interpretations. They carry a higher risk of impacting individuals or society, especially when applied to sensitive contexts or used to predict behavior
High	Text Generation	Generating entirely new content based on learned patterns, contexts, or prompts, with little to no human input in the creation process	Creating new articles, stories, reports, fake reviews, or news stories	This category remains high risk due to the potential for misuse in creating misleading information, impacting reputations, or influencing public opinion. The generation of new content carries inherent risks related to accuracy, ethics, and the potential for generating harmful or biased content

4. For tasks requiring logical or mathematical reasoning, as well as in sensitive fields such as medicine or law, preference should be given to GAI systems equipped with methods to counteract the “hallucination” effect. These methods may include advanced prompt engineering, reasoning-enabled models, or a combination of these approaches, with a mandatory indication of the techniques used to minimize risks. In sensitive areas, it is also essential to provide justification for using a particular GAI.

5. GAI may be used for data analysis, provided that results are verified with an alternative tool and/or by using software that includes program listings or links to public repositories (e.g., GitHub). When proprietary or fine-tuned models are used, detailed information about the dataset, training process, and key metrics demonstrating model reliability must be provided.

6. The use of GAI for handling personal, sensitive, and confidential data is permitted only when using corporate versions of models, open-source tools in on-premises environments, or other tools after data anonymization. Compliance with data security requirements is mandatory, with a strong preference for working with anonymized data.

7. When using datasets to train models, it is recommended to perform an additional analysis to identify any potential biases and to document the findings in the final output.

8. GAI tools can be used to create images, audio, or video, but unedited GAI output must be labeled “Created using GAI.” If GAI is only used to improve existing content, like enhancing an old photo, labeling is optional. Details like the tool, model, or version can be included if relevant.

9. All information about the use of GAI should be described in a separate section titled “AI Acknowledgment.” Additional details like tool, service, model, version, etc. can be added if relevant.

10. Each organization should establish an action plan to address instances of improper labeling or other violations related to GAI usage, including steps for remediation.

**Conclusions and prospects for further development.** GAI offers significant benefits in education and research, providing new opportunities for enhancing learning, data analysis, and knowledge discovery. However, alongside these advantages are risks such as bias, data privacy concerns, and potential misuse. Addressing these challenges is crucial for building trust in GAI and ensuring its responsible application within academic and research environments. Our focus is on maximizing the positive impact of GAI while carefully managing these risks.

Looking forward, we are committed to refining our policies to make them clearer and more objective, reducing any subjectivity that could lead to inconsistent practices. This effort will also account for the rapid advancements in GAI technology, ensuring our guidelines remain relevant and adaptable. By concentrating on reducing risks, we aim to create a safe and ethical foundation for GAI in education and research, balancing innovation with responsibility and transparency.

**AI Acknowledgment.** This research article involved the use of ChatGPT 4o for low-risk tasks such as information search, grammar check, paraphrasing, and logical structure analysis. All key ideas, conclusions, and arguments presented in the article were formulated by the authors, ensuring that the integrity and originality of the research were maintained throughout the writing process.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Pinchuk O., Malyska I. «Responsible and ethical use of artificial intelligence in research and publishing», ITLT, vol. 100. no. 2. pp. 180–198. Apr. 2024. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/5676> (дата звернення: 15.11.2024).



2. Anthony Hié, Claire Thouary. How GAI Is Reshaping Higher Education. 2023. URL: <https://www.aacsb.edu/insights/articles/2023/10/how-ai-is-reshaping-higher-education> (дата звернення: 15.11.2024).
3. Learning about artificial intelligence: A hub of MIT resources for K-12 students. 2020. URL: <https://news.mit.edu/2020/learning-about-artificial-intelligence-hub-of-mit-resources-k-12-students-0407> (дата звернення: 15.11.2024).
4. Guidance for the Use of GAI. 2023. URL: [https://teaching.ucla.edu/resources/ai\\_guidance/](https://teaching.ucla.edu/resources/ai_guidance/) (дата звернення: 15.11.2024).
5. Sarah Steimer. Human-aware A.I. helps accelerate scientific discoveries. URL: <https://news.uchicago.edu/story/human-aware-ai-helps-accelerate-scientific-discoveries-new-research-shows> (дата звернення: 15.11.2024).
6. Wayne Holmes, Maya Bialik, Charles Fadel. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/332180327\\_Artificial\\_Intelligence\\_in\\_Education\\_Promise\\_and\\_Implications\\_for\\_Teaching\\_and\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/332180327_Artificial_Intelligence_in_Education_Promise_and_Implications_for_Teaching_and_Learning) (дата звернення: 15.11.2024).
7. Carlo Cadenas. GAI in Science: How Artificial Intelligence is Transforming Scientific Research. 2023. URL: <https://www.nature.com/immersive/d41586-023-03017-2/index.html> (дата звернення: 15.11.2024).
8. Краковецький О.Ю., Шевченко Н.Ю. Аналіз політики щодо використання технологій генеративного штучного інтелекту в освітньому процесі. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : зб. тез доп. XIV міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернігів, 23–24 травн. 2024 р. Чернігів, 2024. С. 348-349.
9. Zawacki-Richter Olaf, Victoria I. Marín, Melissa Bond & Franziska Gouverneur. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? 2019. URL: <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-019-0171-0> (дата звернення: 15.11.2024).
10. H. Lee Swanson, Amber Moran, Cathy Lussier, Wenson W. Fung. The Effect of Explicit and Direct Generative Strategy Training and Working Memory on Word Problem-Solving Accuracy in Children at Risk for Math Difficulties. *Learning Disability Quarterly*. 37(2):111-123. 2014. DOI: 10.1177/0731948713507264.
11. Mohammad Behdad and etc. Artificial Intelligence and COVID-19: Deep Learning Approaches for Diagnosis and Treatment. 2020. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8043506/> (дата звернення: 15.11.2024).
12. Anmol Arora, Ananya Arora. Generative adversarial networks and synthetic patient data: current challenges and future perspectives. 2022. URL: [https://consensus.app/papers/networks-patient-data-challenges-future-perspectives-arora/c5c1d6d948af5c53ae41fee34e73b51d/?utm\\_source=chatgpt](https://consensus.app/papers/networks-patient-data-challenges-future-perspectives-arora/c5c1d6d948af5c53ae41fee34e73b51d/?utm_source=chatgpt) (дата звернення: 15.11.2024).
13. Philippe Burlina and etc. Addressing Artificial Intelligence Bias in Retinal Disease Diagnostics. 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/340997186\\_Addresssing\\_Artificial\\_Intelligence\\_Bias\\_in\\_Retinal\\_Disease\\_Diagnostics](https://www.researchgate.net/publication/340997186_Addresssing_Artificial_Intelligence_Bias_in_Retinal_Disease_Diagnostics) (дата звернення: 15.11.2024).
14. Varun Magesh and etc. Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading GAI Legal Research Tools. 2024. URL: [https://www.researchgate.net/publication/381109273\\_Hallucination-Free\\_Assessing\\_the\\_Reliability\\_of\\_Leading\\_AI\\_Legal\\_Research\\_Tools](https://www.researchgate.net/publication/381109273_Hallucination-Free_Assessing_the_Reliability_of_Leading_AI_Legal_Research_Tools) (дата звернення: 15.11.2024).
15. Angela Jones, Anita Olds, Joanne Lisciandro. Understanding the Learner: Effective course design in the changing higher education space. 2023. URL: [https://www.researchgate.net/publication/311453970\\_Understanding\\_the\\_Learner\\_Effective\\_course\\_design\\_in\\_the\\_changing\\_higher\\_education\\_space](https://www.researchgate.net/publication/311453970_Understanding_the_Learner_Effective_course_design_in_the_changing_higher_education_space) (дата звернення: 15.11.2024).
16. Syllabi Polices for GAI. 2024. URL: <https://aiedusimplified.substack.com/> (дата звернення: 15.11.2024).
17. Levin Brinkmann et al. Machine Culture. 2023. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2311/2311.11388.pdf> (дата звернення: 15.11.2024).

## REFERENCES:

1. Pinchuk O., Malytska I. «Responsible and ethical use of artificial intelligence in research and publishing», ITLT, vol. 100. no. 2. pp. 180–198. Apr. 2024. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/5676> (дата звернення: 15.11.2024).
  2. Anthony Hié, Claire Thouary. How GAI Is Reshaping Higher Education. 2023. URL: <https://www.aacsb.edu/insights/articles/2023/10/how-ai-is-reshaping-higher-education> (дата звернення: 15.11.2024).
  3. Learning about artificial intelligence: A hub of MIT resources for K-12 students. 2020. URL: <https://news.mit.edu/2020/learning-about-artificial-intelligence-hub-of-mit-resources-k-12-students-0407> (дата звернення: 15.11.2024).
  4. Guidance for the Use of GAI. 2023. URL: [https://teaching.ucla.edu/resources/ai\\_guidance/](https://teaching.ucla.edu/resources/ai_guidance/) (дата звернення: 15.11.2024).
  5. Sarah Steimer. Human-aware A.I. helps accelerate scientific discoveries. URL: <https://news.uchicago.edu/story/human-aware-ai-helps-accelerate-scientific-discoveries-new-research-shows> (дата звернення: 15.11.2024).
  6. Wayne Holmes, Maya Bialik, Charles Fadel. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/332180327\\_Artificial\\_Intelligence\\_in\\_Education\\_Promise\\_and\\_Implications\\_for\\_Teaching\\_and\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/332180327_Artificial_Intelligence_in_Education_Promise_and_Implications_for_Teaching_and_Learning) (дата звернення: 15.11.2024).
  7. Carlo Cadenas. GAI in Science: How Artificial Intelligence is Transforming Scientific Research. 2023. URL: <https://www.nature.com/immersive/d41586-023-03017-2/index.html> (дата звернення: 15.11.2024).
  8. Krakovetskyi O.Yu., Shevchenko N.Yu. (2024) Analiz polityky shhodo vykorystannja tekhnologij gheneratyvnogho shtuchnogho intelektu v osvittjnomu procesi [Analysis of policies Regarding the use of generative artificial intelligence technologies in the educational process]. Proceedings of the *Comprehensive quality assurance of technological processes and systems : Proceedings of the XIV International scientific and practical conference (Chernihiv, May 23–24, 2024)*, Chernihiv: NU "Chernihiv Polytechnic", pp. 348-349.
  9. Zawacki-Richter Olaf, Victoria I. Marín, Melissa Bond & Franziska Gouverneur. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? 2019. URL: <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-019-0171-0> (дата звернення: 15.11.2024).
  10. H. Lee Swanson, Amber Moran, Cathy Lussier, Wenson W. Fung. The Effect of Explicit and Direct Generative Strategy Training and Working Memory on Word Problem-Solving Accuracy in Children at Risk for Math Difficulties. *Learning Disability Quarterly*. 37(2):111-123. 2014. DOI: 10.1177/0731948713507264.
  11. Mohammad Behdad and etc. Artificial Intelligence and COVID-19: Deep Learning Approaches for Diagnosis and Treatment. 2020. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8043506/> (дата звернення: 15.11.2024).
  12. Anmol Arora, Ananya Arora. Generative adversarial networks and synthetic patient data: current challenges and future perspectives. 2022. URL: [https://consensus.app/papers/networks-patient-data-challenges-future-perspectives-arora/c5c1d6d948af5c53ae41fee34e73b51d/?utm\\_source=chatgpt](https://consensus.app/papers/networks-patient-data-challenges-future-perspectives-arora/c5c1d6d948af5c53ae41fee34e73b51d/?utm_source=chatgpt) (дата звернення: 15.11.2024).
  13. Philippe Burlina and etc. Addressing Artificial Intelligence Bias in Retinal Disease Diagnostics. 2021. URL: [https://www.researchgate.net/publication/340997186\\_Addressing\\_Artificial\\_Intelligence\\_Bias\\_in\\_Retinal\\_Disease\\_Diagnostics](https://www.researchgate.net/publication/340997186_Addressing_Artificial_Intelligence_Bias_in_Retinal_Disease_Diagnostics) (дата звернення: 15.11.2024).
  14. Varun Magesh and etc. Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading GAI Legal Research Tools. 2024. URL: [https://www.researchgate.net/publication/381109273\\_Hallucination-Free\\_Assessing\\_the\\_Reliability\\_of\\_Leading\\_AI\\_Legal\\_Research\\_Tools](https://www.researchgate.net/publication/381109273_Hallucination-Free_Assessing_the_Reliability_of_Leading_AI_Legal_Research_Tools) (дата звернення: 15.11.2024).
-

15. Angela Jones, Anita Olds, Joanne Lisciandro. Understanding the Learner: Effective course design in the changing higher education space. 2023. URL: [https://www.researchgate.net/publication/311453970\\_Understanding\\_the\\_Learner\\_Effective\\_course\\_design\\_in\\_the\\_changing\\_higher\\_education\\_space](https://www.researchgate.net/publication/311453970_Understanding_the_Learner_Effective_course_design_in_the_changing_higher_education_space) (дата звернення: 15.11.2024).

16. Syllabi Polices for GAI. 2024. URL: <https://aiedusimplified.substack.com/> (дата звернення: 15.11.2024).

17. Levin Brinkmann et al. Machine Culture. 2023. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2311/2311.11388.pdf> (дата звернення: 15.11.2024).

---

УДК 004.45:004.272.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.6>

## ЕФЕКТИВНІСТЬ І БАГАТОПОТОКОВІСТЬ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У СИСТЕМНОМУ ПРОГРАМУВАННІ

**Кундос М. Г.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»  
ORCID ID: 0009-0001-0310-357X

**Соловей Л. Я.** – старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»  
ORCID ID: 0009-0001-2832-1741

**Грисюк А. В.** – викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»  
ORCID ID: 0009-0007-2287-5982

**Багнюк О. М.** – старший викладач кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування  
ORCID ID: 0000-0002-7898-2337

У роботі досліджується застосування паралельних обчислень у системному програмуванні, зокрема питання багатопотоковості та ефективності. Паралельні обчислення є важливою складовою для підвищення продуктивності в умовах обробки великих обсягів даних та виконання ресурсоемних обчислень. Зі збільшенням кількості ядер у процесорах багатопотоковість стала важливою технологією для розробки високопродуктивного програмного забезпечення. Проте, ефективно використання багатоядерних систем потребує комплексного підходу до управління потоками, синхронізації ресурсів і балансування навантаження. Однією з найбільших проблем у багатопотоковому середовищі є синхронізація процесів, яка може призвести до блокування ресурсів, що негативно впливає на продуктивність.

Крім того, у статті розглядаються підходи до управління потоками, такі як розподіл завдань між ядрами та динамічне балансування навантаження, які дозволяють підвищити ефективність паралельних обчислень. Особлива увага приділяється методам уникнення конфліктів під час доступу до спільних ресурсів, а також використанню сучасних бібліотек і технологій, що спрощують реалізацію паралельних алгоритмів у системному програмуванні. Окремо проаналізовано ризики, пов'язані з використанням багатопотоковості, зокрема виникнення помилок синхронізації, що можуть впливати на стабільність програмного забезпечення.

Це дослідження є корисним для ІТ-розробників, які прагнуть глибше зрозуміти принципи багатопотоковості та шляхи оптимізації обчислювальних процесів. Стаття надає огляд сучасних технологій і засобів, що використовуються для забезпечення ефективності у паралельних обчисленнях, і висвітлює основні принципи побудови багатопотокових програм. Висновки роботи демонструють необхідність зваженого підходу до реалізації багатопотокових систем, враховуючи апаратні обмеження, специфіку операційних систем і потенційні проблеми синхронізації, щоб уникнути негативного впливу на продуктивність.

**Ключові слова:** паралельні обчислення, багатопотоковість, системне програмування, продуктивність, управління потоками, синхронізація, оптимізація ресурсів.

**Kundos M. G., Solovei L. Ya., Hrysyuk A. V., Bahniuk O. M. Efficiency and multi-threading of parallel calculations in systems programming**

*The paper examines the application of parallel computing in system programming, in particular the issues of multithreading and efficiency. Parallel computing is an important component for increasing productivity in the conditions of processing large volumes of data and performing resource-intensive calculations. With the increase in the number of cores in processors, multithreading has become an important technology for developing high-performance software. However, effective use of multicore systems requires a comprehensive approach to flow management, resource synchronization, and load balancing. One of the biggest challenges in a multi-threaded environment is process synchronization, which can lead to resource blocking, which negatively affects performance.*

*In addition, the paper discusses approaches to thread management, such as the distribution of tasks between cores and dynamic load balancing, which allow to improve the efficiency of parallel computing. Special attention is paid to methods of avoiding conflicts during access to shared resources, as well as to the use of modern libraries and technologies that simplify the implementation of parallel algorithms in system programming. The risks associated with the use of multithreading, in particular the occurrence of synchronization errors, which can affect the stability of the software, are analyzed separately.*

*This study is useful for IT developers who seek a deeper understanding of the principles of multithreading and ways to optimize computing processes. The article provides an overview of modern technologies and tools used to ensure efficiency in parallel computing, and highlights the basic principles of building multithreaded programs. The conclusions of the work demonstrate the need for a balanced approach to the implementation of multi-threaded systems, taking into account hardware limitations, the specifics of operating systems and potential synchronization problems, in order to avoid a negative impact on performance.*

**Key words:** parallel computing, multi-threading, system programming, performance, thread management, synchronization, resource optimization.

**Вступ.** У сучасному світі обробка великих обсягів даних і виконання складних обчислювальних завдань стали невід'ємною частиною різних галузей – від наукових досліджень до бізнесу та розробки програмного забезпечення. Паралельні обчислення, які дозволяють розподіляти завдання між кількома потоками або процесами, є одним із найефективніших способів підвищення продуктивності та скорочення часу виконання завдань. Завдяки розвитку багатоядерних процесорів та можливостям сучасних операційних систем, багатопотоковість є ключовою технологією у системному програмуванні.

Однак використання паралельних обчислень у системному програмуванні вимагає обережного підходу, оскільки управління потоками, забезпечення синхронізації та балансування навантаження між ядрами процесора є складними завданнями, що вимагають оптимізації та розуміння особливостей апаратного забезпечення. Неправильне застосування багатопотоковості може призвести до виникнення «вузьких місць» у програмі, проблем із блокуванням ресурсів або навіть зниження продуктивності.

**Постановка проблеми.** Дослідження основних принципів та викликів паралельних обчислень у системному програмуванні, аналіз сучасних підходів до багатопотоковості та методів підвищення ефективності в багатоядерних середовищах є важливим питанням для розробників системного програмного забезпечення, оскільки правильне використання багатопотокових рішень здатне суттєво вплинути на продуктивність програмного забезпечення і забезпечити швидке та ефективне виконання обчислювальних завдань.

**Мета дослідження.** Метою цієї статті є дослідження принципів багатопотоковості паралельних обчислень в системному програмуванні, а також аналіз ефективності використання багатоядерних процесорів для оптимізації продуктивності програмного забезпечення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання ефективності багатопотоковості та паралельних обчислень у системному програмуванні досліджувалися

у багатьох наукових працях, зокрема в галузях комп'ютерних наук, розподілених систем, операційних систем та оптимізації паралельних алгоритмів. Дослідження підкреслюють, що важливим є аналіз швидкості (speedup) та ефективності (efficiency) паралельних обчислень, які впливають на масштабованість програм при збільшенні кількості ядер або процесорів. Сучасні методи включають використання оптимізованих паралельних алгоритмів, що знижують час обробки завдань без зниження їх точності. У статті [1] описується паралельна схема обчислень, що розподіляє завдання між кількома потоками або процесорами для підвищення продуктивності. Автори [2] досліджують технологію продуктивності складних розподілених програм, що обробляють великі обсяги даних у режимі реального часу, і сприяє оптимізації та ефективності паралельних обчислень у реальних додатках, зокрема в умовах високих вимог до швидкості обробки даних. В роботі [3] основну увагу зосереджено на розробці і теоретичних складових організації паралельних обчислювальних систем, що базуються на рекурсивній архітектурі.

Завдання системного програмування полягає у розробці інструментів, що сприяють підвищенню якості інформаційних систем, зокрема шляхом пошуку нових рішень для забезпечення надійності та безпеки інформації [4].

Робота [5] присвячена використанню багатопотокового програмування в контексті паралельних обчислень для досягнення оптимальних результатів продуктивності та яким чином багатопотоковість допомагає ефективно використовувати сучасні багатоядерні процесори, забезпечуючи кращу продуктивність і масштабованість.

Дослідження авторів С. І. Гоменюк, С. В. Чопоров, А. О. Лісняк, О. В. Кудін, С. М. Гребенюк спрямоване на глибоке вивчення концепцій багатопоточності та їх застосування у системному програмуванні. Воно містить як теоретичні аспекти, так і практичні рекомендації для студентів, що спеціалізуються на інформаційних системах та технологіях [6].

**Виклад основного матеріалу.** Проблемність питання полягає у застосуванні стратегій та алгоритмів в системному програмуванні для ефективного використання багатопоточності паралельних обчислень з мінімізацією витрат на синхронізацію, комунікацію та управління потоками. Для підвищення ефективності багатопоточності в паралельних обчисленнях потрібен підхід, який враховуватиме баланс між паралельним розподілом задач, синхронізацією та оптимальним використанням ресурсів, орієнтуючись на характеристики конкретної апаратної платформи.

Ефективність багатопотоковості в паралельних обчисленнях у системному програмуванні можна проілюструвати на прикладі обробки великих даних. При обробці великих баз даних паралельні обчислення допомагають розподілити пошук по декількох потоках (Рис. 1). Наприклад, у великому журналі подій (log file) на кілька гігабайтів можна шукати певні ключові слова або помилки. В результаті паралельний пошук значно прискорює роботу з великим файлом. Якщо на пошук у послідовному режимі знадобиться 10 хвилин, то використання 4 потоків може скоротити час до 2.5 хвилин.

Паралельні обчислення і системне програмування тісно пов'язані, оскільки системне програмування забезпечує низькорівневу інфраструктуру, необхідну для ефективної реалізації паралельних обчислень.

Паралельність обчислень полягає у можливості різних частин програми виконуватися незалежно або частково незалежно, без впливу на кінцевий результат, що є важливим при створенні ефективних програм, здатних виконувати кілька

операцій одночасно. Багатопотоковість, як форма паралелізму, передбачає наявність декількох потоків виконання, які працюють одночасно в межах однієї програми.



Рис.1. Процес розподілу пошуку по декількох потоках

Багатопотоковість є потужним інструментом у системному програмуванні, але її ефективність залежить від правильного розподілу потоків, архітектури апаратного забезпечення та обраної мови програмування. Врахування цих факторів дозволяє досягти суттєвого прискорення обчислень і ефективного використання ресурсів системи.

Основними перевагами використання потоків, як засобу організації паралелізму, є низькі накладні витрати на запуск і обслуговування потоків, а також – швидка й проста комунікація між ними. В якості недоліків можна зазначити необхідність узгодження даних між потоками та можливу конкуренцію між ними за ресурси [6].

Системне програмування вимагає високої продуктивності та ефективного використання апаратних ресурсів, зокрема в умовах паралельних обчислень. Мови програмування, що підтримують багатопоточність та забезпечують ефективність паралельних обчислень C/C++ є основними для системного програмування завдяки своєму близькому до апаратного рівню доступу та підтримці багатопотоковості через бібліотеки, такі як POSIX Threads (pthread) та стандартну бібліотеку потоків у C++. Ці мови дають програмістам можливість максимально використовувати ресурси системи, забезпечуючи високу швидкість виконання і мінімальні витрати.

Серед сучасних мов програмування, в яких можна реалізувати багатопотоковість та паралельність обчислень можна виділити такі мови, як Rust та Go.

Кожна з цих мов має свої особливості та застосування, проте всі вони забезпечують високий рівень паралельності та багатопотоковості, що дозволяє значно підвищити ефективність виконання складних обчислювальних задач. Вибір мови програмування залежить від конкретних вимог до продуктивності, безпеки та типу обчислень, що виконуються в системі.

Таким чином, для ефективної реалізації паралельних обчислень у системному програмуванні необхідно правильно обирати мову, орієнтуючись на специфічні характеристики задачі, тип апаратного забезпечення та вимоги до масштабованості та безпеки.

**Висновки.** Паралельні обчислення дозволяють підвищити ефективність програм шляхом використання багатопотоковості для одночасного виконання задач, особливо в задачах обробки великих обсягів даних. Системне програмування надає необхідні інструменти для управління потоками, синхронізації і оптимізації використання пам'яті, що робить паралельну обробку ефективнішою.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Дивак М., Кіндзерський О. "Дослідження ефективності паралельної обчислювальної схеми ідентифікації інтервальних дискретних моделей на основі ройового інтелекту". *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 2024, 331(1), pp. 29-37. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-3>
2. Васильченко І. П., Сачанюк-Кавецька Н. В., Бараненко Р. В. Технології розподільних систем та паралельних обчислень. *Measuring and computing devices in technological processes*, 2021, no 1, p. 16-25. [https:// DOI: 10.31891/2219-9365-2020-67-1-3](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2020-67-1-3)
3. Яровий А. А. Методи та засоби організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою. Монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. – 363 с. ISBN 978-966-641-681-3
4. Pieter Koopman, Steffen Michels, and Rinus Plasmeijer Dynamic Editors for Well-Typed Expressions. *Trends in Functional programming/ 22nd international Symposium, TFP 2021, February 17-19, 2021/ Springer, LNCS 12834*, pp. 44-66.
5. Abhishek Shukla Introducing Multi-Threaded Programming in Parallel Programming Process for Optimal Performance Results. *Journal of Mathematical & Computer Applications. SRC/JMCA-161. 2023. DOI: doi.org/10.47363/JMCA/2023(2)132*
6. Гоменюк С. І., Чопоров С. В., Лісняк А. О., Кудін О. В., Гребенюк С. М. Системне програмування: розробка багатопотокових програм в операційній системі Linux: навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності "Інформаційні системи та технології" освітньо-професійної програми "Інформаційні системи та технології". Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2021. 120 с.

**REFERENCES:**

1. Dyvak M., Kindzers'kyi O. (2024) "Doslidzhennya efektyvnosti paralel'noyi obchyslyval'noyi skhemy identyfikatsiyi interval'nykh dyskretnykh modeley na osnovi royovoho intelektu". *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 331(1), pp. 29-37. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-3>
2. Vasyl'chenko I. P., Sachanyuk-Kavets'ka N. V., Baranenko R. V. (2021) *Tekhnolohiyi rozpodil'nykh system ta paralel'nykh obchyslen'*. *Measuring and computing devices in technological processes*, no 1, p. 16-25. [https:// DOI: 10.31891/2219-9365-2020-67-1-3](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2020-67-1-3)
3. Yarovy A. A. (2016) *Metody ta zasoby orhanizatsiyi vysokoproduktyvnykh paralel'no-iyerarhichnykh obchyslyval'nykh system iz rekursyvnoyu arkhitekturoyu*. *Monohrafiya. Vinnytsya : VNTU. 363 s. ISBN 978-966-641-681-3*
4. Pieter Koopman, Steffen Michels, and Rinus Plasmeijer (2021) *Dynamic Editors for Well-Typed Expressions. Trends in Functional programming/ 22nd international Symposium, TFP 2021, February 17-19, 2021/ Springer, LNCS 12834*, pp. 44-66.
5. Abhishek Shukla (2023) *Introducing Multi-Threaded Programming in Parallel Programming Process for Optimal Performance Results. Journal of Mathematical & Computer Applications. SRC/JMCA-161. DOI: doi.org/10.47363/JMCA/2023(2)132*
6. Homenyuk S. I., Choporov S. V., Lisnyak A. O., Kudin O. V., Hrebenyuk S. M. (2021) *Systemne prohramuvannya: rozrobka bahatopotokovykh prohram v operatsiynyi systemi Linux: navchal'nyy posibnyk dlya zdobuvachiv stupenya vyshchoyi osvity bakalavra spetsial'nosti "Informatsiyni systemy ta tekhnolohiyi" osvith'oprofesiynoyi prohramy "Informatsiyni systemy ta tekhnolohiyi"*. [System programming: development of multi-threaded programs in the Linux operating system: a study guide for applicants of a higher education bachelor's degree in the specialty "Information systems and technologies" of the educational and professional program "Information systems and technologies"]. Zaporizhzhya: Zaporiz'kyi natsional'nyy universytet [in Ukrainian].



УДК 65.012

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.7>

## АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЧЕРЕЗ ВИКОРИСТАННЯ AI ТА PREDICTIVE ANALYTICS

**Плахов В. Ю.** – аспірант

Навчально-наукового інституту енергетичної, інформаційної

та транспортної інфраструктури

ORCID ID: 0009-0009-8718-2655

**Доценко Н. В.** – доктор технічних наук,

професор кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві

Харківського національного університету міського господарства

імені О. М. Бекетова

ORCID ID: 0000-0003-3570-5900

Стаття присвячена автоматизації управління ключовими показниками ефективності (KPI) через використання штучного інтелекту (ШІ) та прогнозної аналітики. Серед переваг застосування ШІ у моніторингу KPI виділяють підвищення точності прогнозів завдяки аналізу великих обсягів даних, оперативне виявлення ризиків і відхилень у проектах, а також автоматизацію рутинних завдань управління.

Метою статті є дослідження методів і підходів до застосування ШІ та прогнозної аналітики для автоматизації управління KPI у проектному середовищі. Стаття спрямована на аналіз існуючих інструментів, таких як Power BI, Azure Machine Learning, Google Cloud AI, та оцінку їхньої ефективності для прогнозування показників, таких як Lead Time, Cycle Time та Budget Variance.

У дослідженні застосовано методи аналізу часових рядів, регресії та нейронних мереж, а також практичні сценарії використання для оптимізації управлінських рішень.

Наукова новизна полягає у розробці системного підходу до інтеграції прогнозної аналітики в процеси проектного управління. Стаття пропонує категоризацію метрик для Agile, Scrum, DevOps і масштабованих фреймворків (SAFe, LeSS) та обґрунтовує переваги використання ШІ для моніторингу KPI.

Практична значимість полягає у можливості використання запропонованих підходів керівниками проектів для впровадження ШІ-рішень, що підвищують продуктивність команд, оптимізують ресурси та знижують ризики. Запропоновано рекомендації для інтеграції ШІ у системи управління проектами, що дозволяє забезпечити проактивне управління.

Висновки. Проведено аналіз методів прогнозної аналітики, описано моделі та інструменти для автоматизації моніторингу KPI. Запропоновано системний підхід до інтеграції ШІ-рішень у процеси управління проектами, що дозволяє підвищити ефективність управління та забезпечити прозорість процесів. Розглянуто перспективи подальшого використання ШІ для моніторингу KPI у масштабованих фреймворках.

**Ключові слова:** управління проектами, ключові показники ефективності, прогнозна аналітика, штучний інтелект, Agile, управління даними, DevOps, моніторинг у реальному часі, автоматизація, прийняття рішень.

### **Plakhov V. Yu., Dotsenko N. V. Automation of project KPI management through the use of AI and predictive analytics**

The article focuses on automating the management of key performance indicators (KPIs) through the use of artificial intelligence (AI) and predictive analytics. The advantages of AI-driven KPI monitoring include improved forecast accuracy through big data analysis, proactive risk detection and management, and automation of routine project management tasks.

The objective of the article is to explore methods and approaches for leveraging AI and predictive analytics to automate KPI management in project environments. The study analyzes existing tools, such as Power BI, Azure Machine Learning, and Google Cloud AI, assessing their effectiveness in predicting metrics like Lead Time, Cycle Time, and Budget Variance.

The research employs methods of time series analysis, regression models, and neural networks, alongside practical application scenarios to optimize managerial decision-making.

*Scientific novelty lies in the development of a systematic approach for integrating predictive analytics into project management processes. The article categorizes metrics for Agile, Scrum, DevOps, and scaled frameworks (SAFe, LeSS) and demonstrates the advantages of AI-based KPI tracking.*

*Practical significance includes the potential application of proposed approaches by project managers to implement AI solutions that enhance team productivity, optimize resources, and mitigate risks. Recommendations for integrating AI into project management systems enable proactive decision-making.*

*Conclusions. The study provides an analysis of predictive analytics methods, describing models and tools for automating KPI monitoring. A systematic approach is proposed for integrating AI solutions into project management processes, enhancing management efficiency and ensuring process transparency. Future perspectives for using AI in KPI monitoring within scaled frameworks are also discussed.*

**Key words:** *project management, key performance indicators, predictive analytics, artificial intelligence, Agile, data management, DevOps, real-time monitoring, automation, decision-making.*

**Актуальність дослідження.** Сучасне проектне управління потребує точного та своєчасного відстеження ключових показників ефективності (КПІ), адже від цього залежить здатність організації адаптуватися до мінливих ринкових умов, відповідати високим вимогам щодо якості та своєчасності виконання проєктів. Використання штучного інтелекту (AI) та прогнозної аналітики (predictive analytics) у цьому контексті відкриває нові горизонти для автоматизації, дозволяючи керівникам проєктів не тільки слідкувати за показниками у реальному часі, але й отримувати прогнози щодо можливих відхилень від плану [1, 2].

В умовах жорсткої конкуренції AI стає не просто технологією, а суттєвою перевагою для організацій, що прагнуть зменшити ризики та підвищити ефективність проєктного управління. Використовуючи AI, керівники можуть приймати рішення на основі реальних даних, швидко реагувати на зміни та оптимізувати розподіл ресурсів [3, 4]. Цей підхід забезпечує проактивний контроль над проєктами, що сприяє кращому плануванню та виконанню проєктів, а також підвищує якість управлінських рішень.

**Метою цієї статті** є аналіз та оцінка можливостей застосування AI та predictive analytics для автоматизації моніторингу КПІ в проєктному управлінні. Дослідження зосереджується на порівнянні традиційних методів моніторингу з AI-підходами, які здатні не лише виявляти відхилення, але й прогнозувати їх, дозволяючи керівникам проєктів приймати превентивні заходи. У статті буде розглянуто практичні приклади впровадження AI у різних галузях, що ілюструють реальні результати та перспективи використання новітніх технологій у проєктному управлінні.

**Огляд структури статті.** Стаття складається з наступних розділів. У першому розділі буде представлено огляд основних метрик і показників, які використовуються для моніторингу ефективності у проєктному управлінні, зокрема у контексті Agile, Scrum, Lean, Kanban та інших методологій. Другий розділ присвячено застосуванню AI для прогнозування та моніторингу цих показників у реальному часі, розглядаючи методи прогнозування та інструменти, що дозволяють автоматизувати аналіз великих даних. У третьому розділі будуть висвітлені практичні кейси впровадження AI у різних галузях, зокрема у будівництві, фінансах та IT, а також оцінено переваги та виклики застосування AI у проєктному управлінні. Завершується стаття висновками та рекомендаціями щодо подальших напрямків дослідження та практичного впровадження AI у моніторинг КПІ.

**Огляд джерел інформації.** *Визначення метрик для проєктного управління.* Метрики та ключові показники ефективності (КПІ) займають центральне місце

в оцінці прогресу та результативності проектів. У проектному управлінні, особливо в гнучких методологіях, таких як Agile, Scrum, Lean та Kanban, визначення та моніторинг KPI є критично важливими для підтримки якості та відповідності вимогам [2, 8]. Метрики Velocity, Lead Time та Cycle Time є одними з найпопулярніших індикаторів, що дозволяють оцінювати продуктивність команд, швидкість виконання задач та ефективність ресурсів.

Для зручності та систематизації основні метрики розділено на категорії (табл. 1).

У рамках масштабованих фреймворків, таких як SAFe, метрики розширюються до рівня програмного та портфельного управління, де увага приділяється оцінці ресурсів, відповідності стратегічним цілям та загальній вартості проекту. Наприклад, Net Promoter Score (NPS) та Customer Satisfaction Score (CSS) дозволяють оцінювати ступінь задоволеності кінцевих користувачів продуктом [10]. Інші показники, такі як Portfolio Value, Resource Utilization та Budget Variance, є ключовими для управління великими програмами, оскільки допомагають виявити фінансові та ресурсні ризики ще до їх критичного впливу на проект.

**Застосування AI для автоматизації обраних метрик.** Використання штучного інтелекту для автоматизації моніторингу KPI відкриває нові можливості для управління проектами. Традиційні методи, що передбачають періодичне збирання даних, мають суттєві обмеження в частоті оновлення і точності, тоді як AI забезпечує постійний моніторинг у реальному часі та глибший аналіз даних. Наприклад, застосування AI для автоматизації моніторингу Velocity та Lead Time дозволяє виявляти зміни в продуктивності команди на основі історичних трендів [5, 13].

Важливою перевагою є здатність AI інтегрувати кілька показників на одній платформі, що дозволяє керівникам проектів одночасно відстежувати прогрес, ефективність використання ресурсів та фінансовий стан проекту. Виявлення кореляцій між показниками (наприклад, Lead Time та Resource Utilization) дозволяє вчасно реагувати на потенційні проблеми та забезпечує більш точне стратегічне планування. Використання AI для автоматизації KPI не лише знижує частоту помилок, але й забезпечує оперативну реакцію на критичні зміни, що дозволяє запобігати ризикам та скорочує час на ухвалення рішень.

**Застосування Predictive Analytics для моніторингу ключових показників проекту.** Огляд концепції Predictive Analytics у проектному управлінні. Predictive analytics (прогнозна аналітика) є потужним інструментом, що дозволяє передбачати майбутні результати проектів на основі аналізу історичних даних та поточних показників. Основною метою прогновної аналітики є створення передбачуваної моделі, яка ідентифікує можливі відхилення від плану на ранніх етапах, що дає змогу керівникам проектів швидко реагувати та мінімізувати ризики [1, 3].

Застосування predictive analytics у проектному управлінні забезпечує кілька важливих переваг. По-перше, вона дозволяє отримувати прогнозні оцінки щодо часу завершення етапів проекту та можливих відхилень від бюджету. По-друге, аналіз ключових показників ефективності (KPI) в реальному часі дозволяє виявляти закономірності, які можуть бути прихованими у традиційних методах моніторингу. Наприклад, прогнозна аналітика може передбачити затримки на основі історичних даних про продуктивність команди, що дозволяє керівникам проектів діяти превентивно [5].

Одним з ключових аспектів predictive analytics є використання різноманітних моделей прогнозування, які охоплюють статистичні методи, машинне навчання,

Таблиця 1

Категорія	Показник	Короткий опис	Метод збору даних та частота (традиційне vs. AI)	Застосування AI та Predictive Analytics	Потенціал покращення з AI / Predictive Analytics
Управління проектами	Velocity	Кількість завершених завдань за спринт	Звіти команди, трекери завдань. Традиційно: раз у спринт, AI: щотижнево	Прогнозування завершення спринту на основі попередніх показників.	Підвищення точності прогнозів на 20–30%
	Lead Time	Час від отримання завдання до його завершення	Часові метрики у системі трекінгу задач. Традиційно: щомісяця, AI: щоденно	Виявлення причин затримок через аналіз історичних даних.	Зменшення Lead Time на 15–25%
	Cycle Time	Середній час виконання завдань	Системи моніторингу задач. Традиційно: щомісяця, AI: щотижнево	Прогнозування часу виконання з аналізом попередніх циклів.	Підвищення ефективності на 15–20%
	Earned Value Management	Метод оцінок продуктивності проекту за співвідношенням показників вартості, витрат і часу.	Фінансові звіти, дані про витрати. Традиційно: щомісяця, AI: щотижнево	Прогнозування відхилень на основі попередніх метрик EVM.	Зменшення відхилень від плану на 10–15%.
	Sprint Burndown Chart	Графік, що показує залишкову роботу до завершення спринту	Трекери завдань. Традиційно: раз у спринт, AI: щотижнево	Прогнозування завершення спринтів на основі попередніх показників.	Зменшення відхилень від плану на 10–15%
	Value Stream Efficiency	Показує ефективність потоку створення цінності.	Lean-аналітика, часова оцінка. Традиційно: щоквартально, AI: щомісяця	Виявлення вузьких місць у потоці для зменшення втрат часу.	Зменшення втрат у потоці на 20–25%.
Управління програмами та портфелями	Portfolio Value	Загальна вартість портфеля проектів	Фінансові звіти, аналітика портфеля. Традиційно: щоквартально, AI: щомісяця	Прогнозування змін вартості портфеля залежно від зовнішніх факторів.	Підвищення ROI на 15–20%
	Resource Utilization	Рівень використання ресурсів у проекті	Рівень використання ресурсів у проекті		Підвищення ефективності використання ресурсів
	Alignment to Strategic Goals	Відповідність проектів стратегічним цілям компанії	Звіти про стратегічне планування. Традиційно: щорічно, AI: щоквартально	Прогнозування результатів з урахуванням стратегічної відповідності.	Підвищення відповідності на 20–30%
Метрики якості та ефективності в DevOps та CI/CD	Deployment Frequency	Частота розгортання оновлень у продакшн	Логи релізів CI/CD систем. Традиційно: щомісяця, AI: щотижня	Прогнозування частоти релізів на основі аналізу попередніх даних.	Підвищення частоти релізів на 20%

Продовження таблиці 1

	Change Failure Rate	Відсоток змін, які призвели до дефектів або проблем	Логи релізів, тестування. Традиційно: щомісяця, AI: щоденно	Ідентифікація високоризикових змін за допомогою AI.	Зниження частоти відмов на 25%
	Time to Restore Service	Час відновлення системи після збою	Логи інцидентів, звіти DevOps. Традиційно: після інциденту, AI: постійний моніторинг	Прогнозування часу на відновлення з аналізом попередніх інцидентів.	Скорочення часу на відновлення на 15–20%
Управління продуктовою розробкою	Customer Satisfaction Score	Показник задоволеності клієнта кінцевим продуктом	Дані з опитувань клієнтів, зворотний зв'язок. Традиційно: після релізу, AI: щотижнево	Прогнозування задоволеності клієнта на основі попередніх результатів.	Підвищення задоволеності на 10–20%
	Net Promoter Score (NPS)	Відсоток клієнтів, що рекомендують продукт або послугу	Опитування клієнтів, зворотний зв'язок. Традиційно: щоквартально, AI: щомісяця	Прогнозування NPS для покращення рішень, що орієнтовані на клієнта.	Підвищення NPS на 15%
	Feature Usage	Частота використання ключових функцій продукту	Логи використання продукту. Традиційно: щоквартально, AI: щотижнево	Виявлення популярних/непопулярних функцій для прийняття рішень.	Підвищення використання функцій на 10–15%
	Time to Market	Час від ідеї до виведення продукту на ринок.	Дані про стадії розробки. Традиційно: за етапами, AI: щотижнево	Прогнозування термінів для скорочення часу розробки.	Скорочення часу на виведення на ринок на 20–25%.
	Churn Rate	Відсоток користувачів, які припиняють користуватись продуктом.	Дані з CRM-систем. Традиційно: щомісяця, AI: щотижнево	Прогнозування відтоку користувачів для вчасного впровадження змін.	Зниження відтоку на 10–20%.

а також складніші нейронні мережі. Наприклад, методи на основі аналізу часових рядів, такі як ARIMA, дозволяють ефективно прогнозувати показники з чітко вираженими трендами. Нейронні мережі та алгоритми машинного навчання, зі свого боку, можуть знаходити кореляції між KPI навіть за відсутності явних закономірностей, підвищуючи точність прогнозів [7, 9].

Predictive analytics стала важливим інструментом для гнучких методологій управління, таких як Agile і Scrum, де динамічний аналіз та швидке реагування на зміни є вирішальними. Зокрема, у масштабованих фреймворках, як-от SAFe, прогнозна аналітика використовується для управління залежностями між командами та прогнозування ризиків перевищення ресурсів [10]. Таким чином, прогнозна аналітика дозволяє створити більш адаптивне та проактивне середовище для управління проектами.

**Методи прогнозування та їх застосування для управління KPI.** Методи прогнозування є важливим компонентом прогносної аналітики і відіграють вирішальну роль у передбаченні ключових показників ефективності (KPI) в проектному управлінні. Серед популярних методів прогнозування особливо виділяються

ARIMA, нейронні мережі, а також моделі регресії та аналіз часових рядів, кожен з яких має свої переваги залежно від специфіки проекту та доступних даних [2, 6].

**ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average).** Метод ARIMA є одним з найбільш популярних для аналізу часових рядів і використовується для прогнозування показників, що мають виражені тренди та сезонність. ARIMA дозволяє передбачати значення показників, таких як **Velocity** та **Lead Time**, з урахуванням попередніх змін, що робить його ефективним у середовищах, де показники мають тенденцію змінюватися з плином часу. У проектному управлінні, наприклад, метод ARIMA може застосовуватися для прогнозування відхилень у плануванні та ресурсах, що дозволяє вчасно адаптувати стратегію проекту [3, 8].

**Нейронні мережі та глибоке навчання.** Нейронні мережі та методи глибокого навчання забезпечують високу точність прогнозування завдяки здатності обробляти великі обсяги даних і знаходити приховані закономірності. Для складних проектів з багатьма залежностями, наприклад, у масштабованих Agile фреймворках, таких як SAFe та LeSS, нейронні мережі допомагають передбачати можливі відхилення на основі історичних даних про виконання проекту. Зокрема, такі мережі, як RNN (Recurrent Neural Networks), здатні працювати з часовими рядами і ефективно прогнозувати послідовності подій, що дозволяє керівникам проектів отримувати інформацію про потенційні ризики затримок та дефіциту ресурсів [4, 11].

**Регресійні моделі.** Регресійні моделі є одним з найпростіших і водночас ефективних методів для прогнозування KPI на основі залежностей між різними факторами. В управлінні проектами регресійні моделі використовуються для аналізу зв'язку між показниками, такими як **Resource Utilization** та **Budget Variance**, що дозволяє визначити, як зміни в одному показнику можуть вплинути на інші. Це надає керівникам проектів можливість прогнозувати ефективність розподілу ресурсів та бюджетні відхилення [7, 10].

**Аналіз часових рядів.** Аналіз часових рядів дозволяє відстежувати та передбачати зміни у показниках на основі їхньої поведінки у минулому. У проектному управлінні цей метод особливо корисний для моніторингу таких показників, як **Cycle Time** та **Deployment Frequency** у DevOps і CI/CD середовищах, де регулярність релізів і швидкість виконання задач є критично важливими. Аналіз часових рядів забезпечує можливість прогнозувати можливі зміни у тренді показників, що дозволяє командам вчасно реагувати на потенційні затримки або оптимізувати процеси [9].

**Комбіновані моделі.** У складних проектах з багатьма невизначеностями ефективно використовувати комбіновані моделі, які поєднують елементи ARIMA, регресії та нейронних мереж для створення більш точних прогнозів. Такі моделі особливо корисні у великих портфельних проектах, де є необхідність інтеграції кількох показників, таких як **Customer Satisfaction Score** та **Net Promoter Score (NPS)**, для забезпечення узгодженості проектів із загальною стратегією компанії. Комбіновані моделі забезпечують точність прогнозів на рівні 85–90%, що є значною перевагою для управління проектами з великою кількістю показників та залежностей [12].

Таким чином, використання різних методів прогнозування дозволяє керівникам проектів адаптувати підходи до специфіки проекту, що забезпечує вищу точність та швидкість реагування на зміни у KPI. Залежно від специфіки проекту, кожен з описаних методів може забезпечити проактивне управління ризиками та підвищити ефективність процесів.

**Інструменти для реалізації Predictive Analytics.** Застосування прогнозної аналітики у проектному управлінні значно полегшується завдяки використанню спеціалізованих інструментів, що дозволяють інтегрувати та аналізувати великі обсяги даних у реальному часі. Інструменти для прогнозної аналітики забезпечують автоматизоване збирання, обробку та візуалізацію KPI, що дозволяє командам швидко отримувати інформацію для ухвалення рішень. Нижче розглянуто кілька провідних інструментів, які підтримують прогнозну аналітику та використовуються у проектному управлінні.

**Power BI.** Power BI є одним з найбільш популярних інструментів для бізнес-аналітики, який дозволяє інтегрувати дані з різних джерел і надає можливості для створення динамічних дашбордів. Використовуючи інструменти для прогнозування Power BI, керівники проектів можуть автоматизувати відстеження таких показників, як **Lead Time** та **Cycle Time**, що дозволяє візуалізувати зміни в реальному часі та вчасно реагувати на відхилення від плану. Power BI також підтримує інтеграцію з різними модулями AI для глибокого аналізу даних та створення прогнозних моделей [1, 3].

**Google Cloud AI.** Google Cloud AI є платформою для розробки і розгортання моделей машинного навчання, що дозволяє обробляти великі масиви даних та здійснювати аналіз KPI у режимі реального часу. Зокрема, у середовищах DevOps та CI/CD Google Cloud AI може використовуватися для прогнозування **Deployment Frequency** та **Change Failure Rate** на основі історичних даних та поточних змін у проекті. Інтеграція з BigQuery та іншими інструментами Google Cloud дозволяє компаніям використовувати потужності великих даних для моніторингу показників і оцінки ризиків у проектному управлінні [5, 8].

**IBM Watson Analytics.** IBM Watson Analytics пропонує потужні аналітичні можливості, зокрема підтримку прогнозної аналітики та AI. За допомогою Watson Analytics керівники проектів можуть прогнозувати такі показники, як **Resource Utilization** та **Budget Variance**, що дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів та знизити ймовірність перевитрат. Watson Analytics також підтримує Natural Language Processing (NLP), що дозволяє аналізувати якісні дані (наприклад, зворотний зв'язок від клієнтів) і підвищити точність прогнозів щодо задоволеності клієнтів та інших суб'єктивних показників [4, 7].

**Tableau.** Tableau є потужним інструментом для візуалізації даних, який надає можливість побудови дашбордів для відстеження KPI у реальному часі. Завдяки інтеграції з іншими джерелами даних Tableau забезпечує аналіз показників, таких як **Velocity** та **Sprint Burndown**, що дозволяє швидко оцінювати прогрес команди і виявляти потенційні ризики затримок. Tableau також підтримує розширення на основі AI, що забезпечує можливості для прогнозування змін у показниках [2, 6].

**Azure Machine Learning.** Azure Machine Learning є інс. рументом для розробки та впровадження моделей машинного навчання, який забезпечує підтримку для прогнозування KPI у масштабованих Agile фреймворках, таких як SAFe та LeSS. Azure дозволяє автоматизувати прогнозування показників, таких як **Portfolio Value** та **Net Promoter Score (NPS)**, забезпечуючи зручний інтерфейс для налаштування моделей, що враховують складність і взаємозалежність показників. Інтеграція з іншими сервісами Microsoft, такими як Power BI та Azure DevOps, забезпечує цілісну систему для прогнозування та управління проектними показниками [9, 10].

**Oracle DataScience.** Oracle DataScience пропонує можливості для аналізу та прогнозування KPI за допомогою машинного навчання, що особливо корисно для проектів з великою кількістю даних. Oracle DataScience підтримує інструменти для обробки текстових і числових даних, що дозволяє прогнозувати показники, такі як **Customer Satisfaction Score** та **Feature Usage** у продуктах та послугах. Використання Oracle DataScience дозволяє підвищити точність прогнозів задоволеності клієнтів та ефективності функцій продукту [7].

**Інструменти та технології для автоматизації управління KPI в реальному часі. Роль великих даних у відстеженні KPI.** Великі дані (Big Data) є одним із ключових факторів, що підвищує ефективність сучасного проектного управління. В умовах динамічного розвитку технологій обсяги даних, які генеруються в рамках проектів, стрімко зростають, охоплюючи дані з різних джерел: від корпоративних баз даних до реальних взаємодій з клієнтами та показників продуктивності команди. Аналіз цих даних дозволяє виявляти приховані закономірності, оцінювати ризики, проводити точніші прогнози та оптимізувати управлінські рішення [3, 7].

У проектному управлінні великі дані дозволяють здійснювати детальний аналіз ключових показників ефективності (KPI), таких як Velocity, Lead Time, Resource Utilization, та Customer Satisfaction Score. Дані про історичні значення цих показників дають змогу побудувати повну картину ефективності проекту і відстежувати тренди у реальному часі. Наприклад, аналіз великих даних з використанням машинного навчання дозволяє ідентифікувати фактори, які впливають на тривалість циклів розробки, виявляти кореляції між обсягами роботи та продуктивністю команди, що є важливим для масштабованих фреймворків, таких як SAFe і LeSS [5].

Крім того, великі дані надають можливості для аналізу нелінійних і багатофакторних залежностей між показниками, таких як Customer Satisfaction Score та Net Promoter Score (NPS). Завдяки цьому компанії можуть передбачати зміни у ставленні клієнтів до продукту на основі дій команди або змін у процесі розробки. Також з використанням великих даних можна аналізувати ефективність розгортання релізів і частоту випуску оновлень, що критично важливо у DevOps середовищах [9].

Застосування великих даних в управлінні проектами дозволяє створити єдину інформаційну платформу, яка об'єднує дані з різних джерел, таких як CRM, ERP, HR-системи, системи трекінгу задач, аналітичні платформи, а також інструменти для візуалізації даних. Це забезпечує всебічний моніторинг показників у режимі реального часу і дає змогу виявляти відхилення ще до того, як вони стануть критичними. Інтеграція великих даних з інструментами для прогнозування дозволяє здійснювати проактивний підхід до управління проектами, що допомагає знижувати ризики, покращувати продуктивність та підвищувати ефективність ресурсів [11].

Таким чином, великі дані стають незамінним інструментом для організацій, які прагнуть підвищити ефективність своїх проектів і забезпечити стабільність виконання проектних показників. Використання великих даних для моніторингу KPI дозволяє не лише вдосконалити процеси прийняття рішень, але й створити адаптивну систему управління, що реагує на зміни в реальному часі.

**Інструменти моніторингу KPI у реальному часі.** Управління проектними показниками у реальному часі забезпечує високу гнучкість і можливість швидкого реагування на зміни, що є критичними в умовах Agile та DevOps середовищ. Використання



інструментів для моніторингу KPI у реальному часі дає змогу керівникам проектів оперативнo оцінювати стан проекту, виявляти потенційні проблеми та відхилення від плану, а також здійснювати управління ресурсами. Нижче розглянуто кілька інструментів, які підтримують моніторинг KPI у реальному часі.

**Azure DevOps.** Azure DevOps є комплексною платформою для управління DevOps процесами, що забезпечує автоматизоване відстеження таких показників, як **Deployment Frequency**, **Lead Time**, та **Cycle Time**. Інтеграція з іншими сервісами Azure, такими як Azure Machine Learning, дозволяє використовувати інструменти прогнозувальної аналітики для оцінки часу розгортання та частоти відмов, що дозволяє уникати технічних ризиків і оптимізувати випуск оновлень [2, 6].

**Power BI.** Power BI від Microsoft є одним з провідних інструментів для бізнес-аналітики і дозволяє інтегрувати різні дані з великих баз даних, CRM-систем та платформ проектного управління. Завдяки вбудованим можливостям AI, Power BI забезпечує автоматичне відстеження та аналіз таких KPI, як **Resource Utilization**, **Budget Variance**, та **Customer Satisfaction Score**. Інструмент підтримує побудову динамічних дашбордів, що відображають зміни у показниках у реальному часі, дозволяючи керівникам проектів відстежувати прогрес та приймати оперативні рішення [5].

**Tableau.** Tableau забезпечує потужні можливості для візуалізації KPI у режимі реального часу, що дозволяє організаціям відстежувати прогрес проектів і забезпечувати прозорість даних. Tableau інтегрується з різними джерелами даних і підтримує з'єднання з такими платформами, як Azure та Google Cloud, що дозволяє компаніям об'єднувати дані з різних систем і забезпечувати комплексний огляд проектних показників, таких як **Sprint Burndown**, **Feature Completion Rate** та **Net Promoter Score (NPS)**. Вбудовані AI-функції Tableau також надають можливість для прогнозування змін у KPI [8].

**Splunk.** Splunk є потужним інструментом для збору та аналізу машинних даних у реальному часі, що робить його ідеальним для моніторингу інфраструктури та DevOps показників. Splunk дозволяє відстежувати **Deployment Frequency**, **Change Failure Rate** та інші показники DevOps, що дозволяє командам аналізувати журнали подій і визначати можливі ризики у процесі розробки та розгортання. Завдяки інтеграції з платформами для машинного навчання, Splunk може забезпечувати прогнозування технічних ризиків на основі історичних даних [3].

**Grafana.** Grafana є платформою для моніторингу та візуалізації даних, яка дозволяє створювати дашборди з різними джерелами інформації у реальному часі. Зокрема, Grafana дозволяє відстежувати показники продуктивності у DevOps середовищах та забезпечує інтеграцію з Prometheus, InfluxDB та іншими базами даних. Це забезпечує комплексний аналіз **Lead Time**, **Cycle Time**, та **Flow Efficiency**, що дозволяє командам швидко виявляти відхилення та оптимізувати процеси [7, 9].

Загалом, використання таких інструментів, як Azure DevOps, Power BI, та Tableau, дозволяє не лише відстежувати KPI у реальному часі, а й інтегрувати прогнозну аналітику для проактивного управління проектами. Інструменти моніторингу KPI у реальному часі надають можливість зменшити затримки, виявляти технічні проблеми на ранніх етапах та забезпечують оперативне управління, що є критичним для успішного виконання проектів.

**Переваги автоматизації моніторингу KPI за допомогою AI.** Автоматизація моніторингу KPI за допомогою штучного інтелекту (AI) надає суттєві переваги для

проектного управління, дозволяючи керівникам швидше реагувати на зміни, знижувати кількість помилок та приймати обґрунтовані рішення на основі реальних даних. Використання AI у моніторингу KPI забезпечує наступні ключові переваги.

**Підвищення точності прогнозів.** Однією з найбільших переваг AI є здатність обробляти великі обсяги даних, що дозволяє створювати високоточні прогнози на основі аналізу історичних показників. Це особливо важливо у прогнозуванні таких KPI, як **Lead Time**, **Cycle Time**, та **Resource Utilization**, де точність прогнозу впливає на своєчасність завершення проекту та ефективність розподілу ресурсів. AI дозволяє автоматично ідентифікувати закономірності, які можуть бути неочевидними, підвищуючи точність прогнозів на 20–30% порівняно з традиційними методами [2, 5].

**Оперативність та проактивність управління.** Завдяки можливостям AI, моніторинг KPI можна здійснювати у режимі реального часу, що дозволяє керівникам проектів бути завжди в курсі поточного стану проекту. Проактивне управління означає, що AI може попередити про потенційні ризики або відхилення від плану ще до того, як вони стануть критичними. Наприклад, автоматизація моніторингу таких показників, як **Deployment Frequency** та **Change Failure Rate** у DevOps середовищах, дозволяє швидко реагувати на проблеми в процесі розгортання, знижуючи ризик збоїв [3, 7].

**Зниження витрат і підвищення ефективності.** Автоматизований моніторинг за допомогою AI зменшує кількість рутинних завдань, які потребують ручної обробки, що дозволяє командам зосередитися на стратегічно важливих аспектах проекту. Використання AI для моніторингу KPI, таких як **Budget Variance** та **Net Promoter Score (NPS)**, дозволяє швидше отримувати фінансові дані та оцінки задоволеності клієнтів, що допомагає знизити витрати на управлінські операції і підвищити ефективність. За оцінками, автоматизація може знизити витрати на управління проектами на 15–20% [8, 10].

**Поліпшення задоволеності клієнтів і якості продукту.** Завдяки здатності AI швидко аналізувати зворотний зв'язок від клієнтів, керівники проектів можуть оперативно реагувати на скарги та покращення, що підвищує задоволеність клієнтів. Автоматизація моніторингу таких показників, як **Customer Satisfaction Score** та **Feature Usage**, дозволяє аналізувати взаємодію клієнтів з продуктом і адаптувати стратегію розвитку на основі реальних даних. Це підвищує ймовірність відповідності продукту потребам користувачів і покращує якість кінцевого продукту [6].

**Підтримка крос-функціональної роботи.** Автоматизація KPI за допомогою AI також сприяє кращій взаємодії між різними командами у проекті. Наприклад, аналіз **Sprint Goal Success Rate** та **Resource Utilization** дозволяє оцінювати ефективність команди у спринтах та оптимізувати розподіл ресурсів у масштабованих фреймворках, таких як SAFe та LeSS. Це забезпечує ефективний розподіл задач між командами, підтримує узгодженість цілей і сприяє кращій координації роботи [4, 9].

Таким чином, автоматизація моніторингу KPI за допомогою AI значно покращує управління проектами, забезпечуючи високу точність прогнозів, підвищення ефективності роботи, зниження витрат і покращення якості продукту. Ці переваги роблять AI важливим елементом сучасного проектного управління, що допомагає організаціям досягати більш високих результатів.

**Висновки.** У цій статті розглянуто сучасні підходи до автоматизації моніторингу ключових показників ефективності (KPI) за допомогою штучного інтелекту (AI)

та прогнозування аналітики. Використання AI дозволяє суттєво підвищити точність і швидкість моніторингу проектних показників, що особливо важливо в умовах сучасного Agile, DevOps і масштабованих фреймворків, таких як SAFe та LeSS.

Підсумовуючи, основні переваги автоматизації моніторингу KPI за допомогою AI включають:

1. **Точність прогнозів** – AI дозволяє забезпечити точне прогнозування показників, таких як **Lead Time**, **Cycle Time**, та **Resource Utilization**, що дозволяє керівникам проектів вчасно реагувати на можливі відхилення.

2. **Проактивний моніторинг** – використання AI для моніторингу KPI у реальному часі дозволяє уникнути ризиків і швидше приймати рішення.

3. **Зниження витрат** – автоматизація процесів моніторингу зменшує потребу в рутинній ручній роботі, що знижує загальні витрати на проектне управління.

4. **Покращення якості продукту** – аналіз взаємодії клієнтів та зворотного зв'язку сприяє підвищенню якості продукту та задоволеності клієнтів.

Ці переваги свідчать про те, що AI є критично важливим інструментом для сучасних проектних команд. Подальші дослідження у цій галузі можуть бути спрямовані на розширення можливостей AI у проектному управлінні, включаючи розробку гнучкіших алгоритмів прогнозування та створення інтегрованих систем моніторингу для більш адаптивного управління складними проектами.

Рекомендації щодо впровадження AI у проектне управління передбачають поступовий перехід до автоматизації процесів моніторингу з використанням інструментів, таких як Power BI, Google Cloud AI, та Azure DevOps, які забезпечують ефективну підтримку процесу прийняття рішень. Успішна інтеграція AI потребує підготовки команди до роботи з новими технологіями та орієнтації на довгострокові результати, що підвищить ефективність проектного управління.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. J. Sravanthi, R. Sobti, A. Semwal, M. Shraavan, A. A. Al-Hilali and M. Bader Alazzam, "AI-Assisted Resource Allocation in Project Management," 2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), Greater Noida, India, 2023, pp. 70-74, doi: <https://doi.org/10.1109/ICACITE57410.2023.10182760>

2. M. Odeh, "The Role of Artificial Intelligence in Project Management," in IEEE Engineering Management Review, vol. 51, no. 4, pp. 20-22, Fourthquarter, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/EMR.2023.3309756>

3. Ayadi, O., El-Hassani, I., Barka, N., Masrour, T. (2023). Real-Time KPI Forecasting with 1D Convolutional Time Series for Enhanced Manufacturing Efficiency. In: Masrour, T., El Hassani, I., Barka, N. (eds) Artificial Intelligence and Industrial Applications. A2IA 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 771. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9_3)

4. EL Mazgualdi, C., Masrour, T., El Hassani, I. et al. Machine learning for KPIs prediction: a case study of the overall equipment effectiveness within the automotive industry. Soft Comput 25, 2891–2909 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05348-y>

5. Zheng, L., Baron, C., Esteban, P. et al. Using Leading Indicators to Improve Project Performance Measurement. J. Syst. Sci. Syst. Eng. 28, 529–554 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11518-019-5414-z>

6. Dahmani, S., Ben-Ammar, O., Jebali, A. (2021). Resilient Project Scheduling Using Artificial Intelligence: A Conceptual Framework. In: Dolgui, A., Bernard, A.,

Lemoine, D., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 630. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_33)

7. Li, H. et al. (2024). *Harnessing AI for Project Risk Management: A Paradigm Shift*. In: Yazdi, M. (eds) *Progressive Decision-Making Tools and Applications in Project and Operation Management. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 518. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-51719-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-51719-8_16)

8. Dr. Md. Mahfuzul Islam Shamim. (2024). *Artificial Intelligence in Project Management: Enhancing Efficiency and Decision-Making*. *International Journal of Management Information Systems and Data Science*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.62304/ijmids.v1i1.107>

9. Auth, Gunnar & Jokisch, Oliver & Dürk, Christian. (2019). *Revisiting automated project management in the digital age – a survey of AI approaches*. *Online Journal of Applied Knowledge Management*. 7. [https://doi.org/10.36965/OJAKM.2019.7\(1\)27-39](https://doi.org/10.36965/OJAKM.2019.7(1)27-39)

10. Kassem, B., Costa, F., Staudacher, A.P. (2021). *Lean Monitoring: Boosting KPIs Processing Through Lean*. In: Powell, D.J., Alfnes, E., Holmemo, M.D.Q., Reke, E. (eds) *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 610. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92934-3\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92934-3_32)

11. N. Mohamed and J. Al-Jaroodi, "Real-time big data analytics: Applications and challenges," 2014 International Conference on High-Performance Computing & Simulation (HPCS), Bologna, Italy, 2014, pp. 305-310, doi: <https://doi.org/10.1109/HPCSim.2014.6903700>

12. Indelicato G. Book Review: *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance*. *Project Management Journal*. 2012. Vol. 43, no. 2. P. 102. URL: <https://doi.org/10.1002/pmj.21263> (дата звернення: 01.11.2024).

13. Brahimi, S., Aljulaud, A., Alsaiah, A., AlGuraibi, N., Alrubei, M., Aljamaan, H. (2019). *Performance Dashboards for Project Management*. In: Alfaries, A., Mengash, H., Yasar, A., Shakshuki, E. (eds) *Advances in Data Science, Cyber Security and IT Applications. ICC 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1098. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36368-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36368-0_19)

14. D. B. Abdullah and R. A. -G. Mohammed, "Real-Time Big Data Analytics Perspective on Applications, Frameworks, and Challenges," 2021 7th International Conference on Contemporary Information Technology and Mathematics (ICCITM), Mosul, Iraq, 2021, pp. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCITM53167.2021.9677849>

15. W. Chen, Z. Milosevic, F.A. Rabhi and A. Berry, "Real-Time Analytics: Concepts, Architectures, and ML/AI Considerations," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 71634-71657, 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295694>

16. W. Villegas-Ch, J. García-Ortiz and S. Sánchez-Viteri. *Toward Intelligent Monitoring in IoT: AI Applications for Real-Time Analysis and Prediction*, in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 40368-40386, 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376707>

## REFERENCES:

1. J. Sravanthi, R. Sobti, A. Semwal, M. Shravan, A. A. Al-Hilali and M. Bader Alazzam, "AI-Assisted Resource Allocation in Project Management," 2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), Greater Noida, India, 2023, pp. 70-74, doi: <https://doi.org/10.1109/ICACITE57410.2023.10182760>

2. M. Odeh, "The Role of Artificial Intelligence in Project Management," in *IEEE Engineering Management Review*, vol. 51, no. 4, pp. 20-22, Fourthquarter, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/EMR.2023.3309756>
3. Ayadi, O., El-Hassani, I., Barka, N., Masrou, T. (2023). Real-Time KPI Forecasting with 1D Convolutional Time Series for Enhanced Manufacturing Efficiency. In: Masrou, T., El Hassani, I., Barka, N. (eds) *Artificial Intelligence and Industrial Applications. A2IA 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 771. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43524-9_3)
4. EL Mazgualdi, C., Masrou, T., El Hassani, I. et al. Machine learning for KPIs prediction: a case study of the overall equipment effectiveness within the automotive industry. *Soft Comput* 25, 2891–2909 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05348-y>
5. Zheng, L., Baron, C., Esteban, P. et al. Using Leading Indicators to Improve Project Performance Measurement. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 28, 529–554 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11518-019-5414-z>
6. Dahmani, S., Ben-Ammar, O., Jebali, A. (2021). Resilient Project Scheduling Using Artificial Intelligence: A Conceptual Framework. In: Dolgui, A., Bernard, A., Lemoine, D., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) *Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 630. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_33)
7. Li, H. et al. (2024). Harnessing AI for Project Risk Management: A Paradigm Shift. In: Yazdi, M. (eds) *Progressive Decision-Making Tools and Applications in Project and Operation Management. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 518. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-51719-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-51719-8_16)
8. Dr. Md. Mahfuzul Islam Shamim. (2024). Artificial Intelligence in Project Management: Enhancing Efficiency and Decision-Making. *International Journal of Management Information Systems and Data Science*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.62304/ijmids.v1i1.107>
9. Auth, Gunnar & Jokisch, Oliver & Dürk, Christian. (2019). Revisiting automated project management in the digital age – a survey of AI approaches. *Online Journal of Applied Knowledge Management*. 7. [https://doi.org/10.36965/OJAKM.2019.7\(1\)27-39](https://doi.org/10.36965/OJAKM.2019.7(1)27-39)
10. Kassem, B., Costa, F., Staudacher, A.P. (2021). Lean Monitoring: Boosting KPIs Processing Through Lean. In: Powell, D.J., Alfnes, E., Holmemo, M.D.Q., Reke, E. (eds) *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 610. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92934-3\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92934-3_32)
11. N. Mohamed and J. Al-Jaroodi, "Real-time big data analytics: Applications and challenges," 2014 International Conference on High-Performance Computing & Simulation (HPCS), Bologna, Italy, 2014, pp. 305-310, doi: <https://doi.org/10.1109/HPCSim.2014.6903700>
12. Indelicato G. Book Review: Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance. *Project Management Journal*. 2012. Vol. 43, no. 2. P. 102. URL: <https://doi.org/10.1002/pmj.21263>
13. Brahim, S., Aljulaud, A., Alsaiah, A., AlGuraibi, N., Alrubei, M., Aljamaan, H. (2019). Performance Dashboards for Project Management. In: Alfaries, A., Mengash, H., Yasar, A., Shakshuki, E. (eds) *Advances in Data Science, Cyber Security and IT Applications. ICC 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1098. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36368-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36368-0_19)
14. D. B. Abdullah and R. A. -G. Mohammed, "Real-Time Big Data Analytics Perspective on Applications, Frameworks, and Challenges," 2021 7th International

Conference on Contemporary Information Technology and Mathematics (ICCITM), Mosul, Iraq, 2021, pp. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1109/ICCITM53167.2021.9677849>

15. W. Chen, Z. Milosevic, F. A. Rabhi and A. Berry, "Real-Time Analytics: Concepts, Architectures, and ML/AI Considerations," in IEEE Access, vol. 11, pp. 71634-71657, 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295694>

16. W. Villegas-Ch, J. García-Ortiz and S. Sánchez-Viteri. Toward Intelligent Monitoring in IoT: AI Applications for Real-Time Analysis and Prediction, in IEEE Access, vol. 12, pp. 40368-40386, 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376707>

---

УДК 004.42:004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.8>

## КОМУНІКАТИВНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОБУДОВИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ГЕНЕРАЦІЇ ПРОГРАМ НА ОСНОВІ НАТУРАЛЬНИХ МОВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Свиштунов А. О.** – аспірант, асистент кафедри теорії

та технології програмування

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ORCID ID: 0009-0005-4536-5083

Роботу присвячено методам генерації програм з використанням методів штучного інтелекту на основі натуральних мов. Пропонується використання комунікативної платформи для класифікації та побудови методів генерації програм на основі натуральних мов. Важливим аспектом для генерації програм є мультимодальність засобів специфікації – сприйняття відповідним засобом генерації нечітких умов у різних формах, наприклад, у запитих натуральними мовами, діаграмах, таблицях, тощо.

В роботі розглядаються підходи, що базуються на використанні засобів генеративного штучного інтелекту, в тому числі мультимодальних, з метою моделювання комунікативних систем. Ключем до використання комунікативної платформи для опису та дослідження засобів штучного інтелекту для генерації програм на основі натуральних мов є комбінування реалізацій складових частин комунікативної системи обміну інформації, зокрема методу опису предметної області, задання суб'єкта-ініціатора та суб'єкта-обробника.

Таким чином, пропонується класифікація на основі способів задання об'єктів предметної області, способів задання мети обробки (програми) та вибору моделі суб'єкта-обробника та способом задання його внутрішніх процедур. Мета обробки може бути задана або неявно у вигляді вимог до вихідних об'єктів, або явно у вигляді кроків виконання необхідних перетворень. В термінах комунікативної інформатики обидва формати задання мети подаються як спеціальний інформаційний об'єкт – програма.

В статті описуються в термінах комунікативної платформи методи на основі генерації програмного коду та методи на основі інтелектуальних агентів та змішані підходи, згортку комунікативних систем, де ШІ-агент є одночасно і суб'єктом-обробником, і суб'єктом-ініціатором, що задає дескриптивні системи для виконавця-обробника програмного коду, зокрема, саморефлексійні підходи (Reasoning and Acting) та архітектура Artificial Intelligence Operating System. Зокрема мультиагентна архітектура AgentCoder, є еталонним рішенням згідно оцінок на датасетах для задач генерації програмного коду HumanEval та MBPP.

**Ключові слова:** генерація програм, генерація коду, великі мовні моделі, комунікативний процес, комунікативні системи.

### **Svyshunov A. O. Communicative platform for classifying and constructing program generation methods based on natural language using artificial intelligence**

The paper is devoted to the methods of generating programs using artificial intelligence based on natural languages. It is proposed that a communicative platform be used to classify and construct methods of generating programs based on natural languages. An essential aspect of generating programs is the multimodality of the means of specification – the perception of the appropriate means of generating fuzzy conditions in various forms, for example, in natural language queries, diagrams, tables, etc.

The work considers approaches based on generative artificial intelligence tools, including multimodal ones, to model communication systems. The key to using a communicative platform for the description and research of artificial intelligence tools for generating programs based on natural languages is the combination of implementations of the components of the communicative system of information exchange, in particular, the method of describing the subject area and the assignment of the subject-initiator and subject-processor.

Thus, a classification is proposed based on the methods of specifying the objects of the subject area, the methods of specifying the purpose of the processing (program), and the selection of the model of the processing entity, and the method of specifying its internal procedures. The

*purpose of processing can be specified either implicitly in the form of requirements for source objects or explicitly in the form of steps to perform the necessary transformations. In terms of communicative informatics, both formats of setting a goal are presented as a special information object – a program.*

*The article describes, in terms of the communication platform, methods based on the generation of software code and methods based on intelligent agents and mixed approaches, a convolution of communication systems, where the AI agent is both a processing subject and an initiating subject that sets descriptive systems for the executor-processor of the program code, in particular, self-reflective approaches? Like ReAct (Reasoning and Acting) and the architecture of the Artificial Intelligence Operating System. In particular, the multi-agent architecture of AgentCoder is the state of the art solution according to benchmarks on datasets for the tasks of generating the software code of HumanEval and MBPP.*

**Key words:** program generation, code generation, large language models, communicative process, communicative systems.

Генерація програм належить до сфери інтересів багатьох галузей, зокрема, розробки програмного забезпечення, освіти, безпеки, тощо. Можливість автоматичного створення та модифікації програм призведе до зменшення витрат на розробку та впровадження, а також дозволить створювати програмні рішення залучаючи менше технічних спеціалістів.

Важливим аспектом для генерації програм є мультимодальність засобів специфікації – сприйняття відповідним засобом генерації нечітких умов у різних формах, наприклад, у запитих натуральними мовами, діаграмах, таблицях, тощо.

Суттєвим кроком до розв'язання задачі генерації програм стали дослідження та розробки в галузі генеративного штучного інтелекту, зокрема, великих мовних моделей (на англ. "Large Language Models "LLM"). Великі мовні моделі дозволяють генерувати текст (чи артефакти інших форматів), який може бути або кодом програми, або перетворенням вхідних даних на основі певної інструкції. Прикладами таких моделей є GPT-4 [1], Llama 2 [2], StarCoder 2 [3], Mistral 7B [4] та інші.

Відповідно до розвитку засобів машинного навчання в аспектах генерації програмного коду, постає необхідність у формалізації задачі генерації програм з точки зору теорії програмування. Така формалізація дозволить об'єднати існуючі методи під одну теоретичну базу, а також надати можливості до проектування нових методів.

В рамках даної роботи запропоновано формулювання теоретичних засад генерації програм з використанням штучного інтелекту на основі комунікативної платформи інформатики [5].

**Постановка задачі.** Об'єктом комунікативної інформатики є поняття комунікативної системи обміну інформації, що складається з [5]:

- **опису предметної області** з певною сукупністю інформаційних об'єктів;
- **суб'єкта-ініціатора**, що формує і передає вхідну інформацію суб'єкту обробнику та приймає від нього певну вхідну інформацію;
- **суб'єкта-обробника**, що приймає вхідну інформацію, аналізує її та повертає як вихідну суб'єкту-ініціатору.

Головним призначенням комунікативних систем є встановлення зв'язку між даними предметної області – вхідними та вихідними. Життєвий цикл комунікативної системи розпочинається з запиту на обробку певних вхідних інформаційних об'єктів від ініціатора обробнику та містить мету обробки. Мета обробки може бути задана або неявно у вигляді вимог до вихідних об'єктів, або явно у вигляді кроків виконання необхідних перетворень. В термінах комунікативної інформатики обидва формати задання мети подаються як спеціальний інформаційний об'єкт – **програма**. Обробник має власні внутрішні інформаційні об'єкти, що є прообразами зовнішніх об'єктів ПрО.



Метою методів генерації програм на основі натуральної мови є перетворення вхідних специфікацій натуральною мовою, що подані у форматі *гіпертексту* (текст, діаграми, таблиці, тощо) у стан комунікативної системи для виконання перетворень, що відповідають специфікації. Метою використання засобів штучного інтелекту в даних методах є задання (генерація) дескриптивних систем вхідних даних (формат, який приймає програма на вхід), вихідних даних (формат результату перетворень), запиту (опису перетворень) та внутрішню мову обробника (стан обробника).

Загалом, методи генерації програм на основі натуральної мови можна розділити за:

- способом задання об'єктів предметної області;
- способом задання мети обробки (програми);
- вибором моделі суб'єкта-обробника та способом задання його внутрішніх процедур.

Далі у роботі використовуватиметься саме ця класифікація.

**Методи на основі генерації програмного коду.** Засоби генерації програмного коду охоплюють широкий спектр задач і об'єднують засоби машинного навчання, глибокого навчання та обробки натуральної мови для перетворень, результатом яких є програмний код певною мовою програмування.

Більшість засобів, що підпадають під цей термін, не можуть бути самостійно використані для генерації програм на основі натуральної мови, бо засоби для вирішення задач, наприклад, доповнення коду, обфускації/деобфускації коду, автоматичного виправлення коду, міграції коду, тощо, приймають на вхід програмний код [6]. Варто зазначити, що, хоча і обмежено, але код може містити специфікацію натуральною мовою, але у вигляді коментаря, або іншого синтаксично коректного способу.

Натомість, засоби синтезу програм, як очевидно з визначення, можуть бути застосовані для генерації програм на основі запитів натуральної мови. Методи на основі засобів (моделей машинного навчання) для генерації програмного коду відрізняються використанням інтерпретатора (або компілятора та обчислювального пристрою) в якості *суб'єкта-обробника*. *Предметна область* моделюється використовуючи в якості дескриптивної системи певну визначену мову програмування, яка також використовується для задання мети обчислень. Результатом виконання моделі синтезу програм є текст програмного коду, який може бути запущений суб'єктом-обробником.

Хоча даний підхід є природнім, бо за технологічною складовою повторює процес кодування, використання даного підходу містить суттєві недоліки.

Однією з головних проблем є забезпечення синтаксичної та семантичної коректності згенерованого коду. Датасети для тренування та оцінки рішень для генерації програмного коду, такі як HumalEval [7] та MBPP [8], містять лише засоби для тестування цільових функцій, без засобів для формальної верифікації та загалом перевірки коду на відповідність вимогам. Генерація коду може відбуватись рекурсивно в декілька етапів, таким чином покращуючи якість коду [8], проте на сьогодні не існує надійного механізму уникнення синтаксичних помилок та логічних неточностей у згенерованому програмному коді.

Ще одним викликом є проблема узагальнення. Моделі можуть показувати задовільні метрики точності на прикладах з тренувального датасету, але їх результат значно погіршується на нових, невідомих даних. Ця проблема загострюється обмеженістю контекстного вікна та уваги моделі, що не дозволяє тренувати моделі на великих кодових базах [3].

**Методи на основі ШІ-агентів.** Common Sense Reasoning (з англ. "Міркування на основі здорового глузду") є властивістю сучасних великих мовних моделей і використовується в якості оцінки когнітивних здібностей агентів штучного інтелекту. Для цього моделі тестують [1; 2; 4] на різних задачах від розв'язання шкільних іспитів [9] до аналізу повсякденних ситуацій [10].

Дана властивість знайшла широке застосування у створенні інтелектуальних агентів на основі великих мовних моделей. В якості інтелектуального агента, або ШІ-агента, далі вважатимемо сутності, що здатні сприймати стан навколишнього середовища та змінювати його.

Універсальність ШІ-агентів на основі великих мовних моделей дозволяє використовувати їх в комунікативній системі в якості суб'єкта-обробника, що може виконувати перетворення вхідних даних за певною специфікацією. В цьому випадку, задача зводиться до коректного формулювання мети перетворення, яку має здійснити агент над вхідними даними предметної області. Програмою в даному методі виступає аугментований контекст, що описує специфікацію предметної області натуральною мовою та бажане перетворення. Перетворення може бути задане неявно ("zero-shot" підхід), так і явно у вигляді плану або протоалгоритму ("few-shot" та "chain-of-thoughts" підхід). Інтерфейс спілкування з зовнішнім світом агента, його внутрішня процедура як обробника, також може бути аугментована.

Саморефлексивний підхід до побудови агентів-обробників може бути використаний для покращення результатів перетворень. Підхід до побудови ReAct (Reasoning and Acting, з англ – "Міркування та дії") дозволяє агенту багатокроково планувати та реалізовувати складні перетворення [11]. Таким чином, обробник стає своїм же ініціатором. Окрім цього, для виконання та оцінки перетворень може бути використаний ансамбль агентів довільної топології.

Якісною відмінною від методів на основі генерації коду є використання натуральної мови в якості дескриптивної системи, як для задання мети обчислень, так і для задання внутрішньої процедури суб'єкта-обробника. Такий підхід дозволяє уникнути проблем з обмеженістю навчального датасету та проблем з синтаксисом та семантикою згенерованих програм. Натомість, постає проблема з відтворюваністю результатів перетворень через недетерміновану природу виходу великих мовних моделей.

Ще однією проблемою, що впливає з недетермінованості, є втрата інформації при виконанні перетворень, зокрема, арифметичних операцій [12].

**Змішаний підхід.** Розглянуті до цього методи на основі засобів генерації коду та інтелектуальних агентів відрізнялись природою внутрішньої ДС суб'єкта-обробника. Змішаний підхід до генерації програм з використанням методів штучного інтелекту на основі натуральної мови полягає у комбінації даних підходів і дозволяє балансувати їх переваги та недоліки. По суті, маємо згортку комунікативних систем, де ШІ-агент є одночасно і суб'єктом-обробником, і суб'єктом-ініціатором, що задає дескриптивні системи для виконавця-обробника програмного коду.

Ця ідея лежить в основі архітектури AI OS (Artificial Intelligence Operating System, з англ. "Операційна система на основі штучного інтелекту") [13]. В рамках даної архітектури, велика мовна модель виступає головним обчислювальним елементом, використовуючи інтерпретатор певної мови програмування для окремих задач. Таким чином, частина перетворень може бути делегована готовим програмним рішенням.

Це відкриває простір до варіацій рішень – комбінуючи інтелектуальних агентів та засоби для виконання програмного коду, змішані архітектури досягають найвищих оцінок точності у задачах синтезу програм. Зокрема, мультиагентна архітектура AgentCoder, що реалізує наведений вище підхід є еталонним рішенням згідно оцінок на датасетах HumanEval та MBPP з метрикою точності у 96.3% та 91.8% відповідно на основі моделі GPT-4, досягаючи приросту точності мінімум 39.4% [14]. В залежності від обраної моделі та датасету, середній приріст точності коливається від 39.4% для GPT-3.5-turbo на HumanEval до 277.4% на Claude-Instant-1 на MBPP.

Також, змішаний підхід може бути використаний для підвищення надійності та прозорості процесу генерації шляхом перевикористання верифікованого та/або попередньо згенерованого коду [15].

**Висновки.** В роботі було запропоновано використання комунікативної платформи для класифікації та побудови методів генерації програм. Було розглянуто підходи на основі генерації коду та інтелектуальних агентів з точки зору моделювання комунікативних систем засобами штучного інтелекту на основі натуральної мови. Дана платформа може бути використаною для дослідження, порівняння та побудови архітектур прикладних програмних засобів для генерації програм з використанням методів ШІ.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. OpenAI, Achiam J., Adler S., Agarwal S. та ін. GPT-4 Technical Report. 2024. arXiv:2303.08774 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2303.08774>.
2. Touvron H., Martin L., Stone K., Albert P. та ін. Llama 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models. 2023. arXiv:2307.09288 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2307.09288>.
3. Lozhkov A., Li R., Ben Allal L., Cassano F. та ін. StarCoder 2 and The Stack v2: The Next Generation. 2024. arXiv:2402.19173 [cs.SE]. URL: <https://arxiv.org/abs/2402.19173>.
4. Jiang A.Q., Sablayrolles A., Mensch A., Bamford C. та ін. Mistral 7B. 2023. arXiv:2310.06825 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2310.06825>.
5. Zbenko V. On the communicative informatics // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. 2013. № 2. P. 151–156.
6. Le T.H.M., Chen H., Babar M.A. Deep Learning for Source Code Modeling and Generation: Models, Applications, and Challenges // ACM Computing Surveys. 2020. Vol. 53, № 3. P. 1–38. DOI: 10.1145/3383458. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3383458>.
7. Chen M., Tworek J., Jun H., Yuan Q., Ponde de Oliveira Pinto H., Kaplan J., та ін. Evaluating Large Language Models Trained on Code. 2021. arXiv:2107.03374 [cs.LG]. URL: <https://arxiv.org/abs/2107.03374>.
8. Austin J., Odena A., Nye M., Bosma M., Michalewski H., та ін. Program Synthesis with Large Language Models. 2021. arXiv:2108.07732 [cs.PL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2108.07732>.
9. Cobbe K., Kosaraju V., Bavarian M., Chen M., Jun H., та ін. Training Verifiers to Solve Math Word Problems. 2021. arXiv:2110.14168 [cs.LG]. URL: <https://arxiv.org/abs/2110.14168>.
10. Zellers R., Holtzman A., Bisk Y., Farhadi A., Choi Y. HellaSwag: Can a Machine Really Finish Your Sentence? 2019. arXiv:1905.07830 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/1905.07830>.
11. Yao S., Zhao J., Yu D., Du N., Shafran I., та ін. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models. 2023. arXiv:2210.03629 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2210.03629>.

12. Xia S., Li X., Liu Y., Wu T., Liu P. Evaluating Mathematical Reasoning Beyond Accuracy. 2024. arXiv:2404.05692 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.05692>.
13. Mei K., Li Z., Xu S., Ye R., Ge Y., Zhang Y. AIOS: LLM Agent Operating System. 2024. arXiv:2403.16971 [cs.OS]. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.16971>.
14. Huang D., Bu Q., Zhang J.M., Luck M., Cui H. AgentCoder: Multi-Agent-based Code Generation with Iterative Testing and Optimisation. 2024. arXiv:2312.13010 [cs.CL]. URL: <https://arxiv.org/abs/2312.13010>.
15. Koziolok H., Grüner S., Hark R., Ashiwal V., Linsbauer S., Eskandani N. LLM-based and Retrieval-Augmented Control Code Generation // In Proceedings of 1st International Workshop on Large Language Models for Code (LLM4Code'24). 2024. Association for Computing Machinery (ACM).

#### REFERENCES:

1. OpenAI, Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., & et al. (2024). *GPT-4 Technical Report*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>
2. Touvron, H., Martin, L., Stone, K., Albert, P., & et al. (2023). *Llama 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2307.09288>
3. Lozhkov, A., Li, R., Ben Allal, L., Cassano, F., & et al. (2024). *StarCoder 2 and The Stack v2: The Next Generation*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2402.19173>
4. Jiang, A. Q., Sablayrolles, A., Mensch, A., Bamford, C., & et al. (2023). *Mistral 7B*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2310.06825>
5. Zubenko, V. (2013). On the communicative informatics. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*, 2, 151–156.
6. Le, T. H. M., Chen, H., & Babar, M. A. (2020). Deep learning for source code modeling and generation: Models, applications, and challenges. *ACM Computing Surveys*, 53(3), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3383458>
7. Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Ponde de Oliveira Pinto, H., Kaplan, J., & et al. (2021). *Evaluating Large Language Models Trained on Code*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2107.03374>
8. Austin, J., Odena, A., Nye, M., Bosma, M., Michalewski, H., & et al. (2021). *Program Synthesis with Large Language Models*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2108.07732>
9. Cobbe, K., Kosaraju, V., Bavarian, M., Chen, M., Jun, H., & et al. (2021). *Training Verifiers to Solve Math Word Problems*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2110.14168>
10. Zellers, R., Holtzman, A., Bisk, Y., Farhadi, A., & Choi, Y. (2019). HellaSwag: Can a machine really finish your sentence? *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1905.07830>
11. Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., & et al. (2023). *ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2210.03629>
12. Xia, S., Li, X., Liu, Y., Wu, T., & Liu, P. (2024). *Evaluating Mathematical Reasoning Beyond Accuracy*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2404.05692>
13. Mei, K., Li, Z., Xu, S., Ye, R., Ge, Y., & Zhang, Y. (2024). *AIOS: LLM Agent Operating System*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2403.16971>
14. Huang, D., Bu, Q., Zhang, J. M., Luck, M., & Cui, H. (2024). *AgentCoder: Multi-Agent-based Code Generation with Iterative Testing and Optimisation*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2312.13010>
15. Koziolok, H., Grüner, S., Hark, R., Ashiwal, V., Linsbauer, S., & Eskandani, N. (2024). LLM-based and retrieval-augmented control code generation. In *Proceedings of 1st International Workshop on Large Language Models for Code (LLM4Code'24)*. Association for Computing Machinery (ACM).

УДК 004.62:004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.9>

## ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ

**Трофименко О. Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID ID: 0000-0001-7626-0886

**Лобода Ю. Г.** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID ID: 0000-0001-7083-552X

**Дика А. І.** – асистент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID ID: 0000-0002-4196-8734

**Мільченко О. О.** – аспірант кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID ID: 0009-0007-7121-4670

**Стрілець М. І.** – магістр Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID ID: 0009-0009-1941-6034

Інструменти на основі штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання допомагають системним аналітикам автоматизувати рутинні завдання збору та аналізу даних. Це дозволяє аналітикам зосередитися на більш складних аспектах системного аналізу. При цьому зростають вимоги до професіоналізму фахівців у сфері системного аналізу, оскільки з'являються нові задачі, які вимагають високого рівня компетентностей у сфері ШІ та аналітики даних. У сфері системного аналізу даних з'явилися спеціалізовані професії, серед яких: науковець з даних, інженер даних, інженер з машинного навчання, спеціаліст з оброблення природної мови, бізнес-аналітик та інші. І всі вони зараз використовують доволі широкий спектр ШІ-інструментів у своїй професійній діяльності для покращення процесів аналізу, моделювання та прийняття рішень. У статті проаналізовано роль та можливі сфери застосування алгоритмів ШІ та машинного навчання в роботі різних фахівців з аналізу великих даних. Для кожної професії охарактеризовано можливі інструменти ШІ, які є корисними у діяльності відповідних фахівців для розв'язання ними специфічних професійних задач. З'ясовано, що інструменти машинного навчання допомагають виявляти шаблони й аномалії, створювати прогнози та аналітичні моделі, а також оптимізувати процеси у реальному часі. ШІ дозволяє інтегрувати нові методи прогнозування та аналітики, що сприяє точному, своєчасному ухваленню рішень на всіх етапах оброблення даних. ШІ-технології змінюють традиційні підходи до аналізу й моделювання даних. Вони створюють нові можливості для швидкого ухвалення рішень, підвищення ефективності бізнес-процесів та оптимізації інформаційних систем. ШІ допомагає фахівцям забезпечити якість даних, автоматизувати виявлення аномалій і покращити прогнози для підтримки стратегічного розвитку організацій, зокрема за умов швидко змінюваного ринкового середовища.

**Ключові слова:** штучний інтелект, ШІ, машинне навчання, системний аналіз, аналіз даних, системний аналітик, великі дані, тестування.

**Trofymenko O. G., Loboda Yu. G., Dyka A. I., Milchenko O. O., Strilets M. I. Artificial intelligence in systems analysis**

Tools based on artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) help systems analysts automate routine tasks of data collection and analysis. This allows analysts to focus on more complex aspects of systems analysis. However, the requirements for the professionalism of specialists in the

*field of systems analysis are increasing, as new tasks appear that require a high level of knowledge and skills in the field of AI and data analytics. There are various specialized professions in the field of systems data analysis, including: systems analyst, data engineer, data analyst, data scientist, machine learning engineer, machine learning engineer, natural language processing specialist, business analyst, and others. And all of them now use a wide range of AI tools in their professional activities to improve the processes of analysis, modeling, and decision-making. The article analyzes the role and possible areas of application of AI and ML algorithms in the work of various big data analysis specialists. For each profession, possible AI tools that can be useful in the activities of relevant specialists to solve specific professional tasks are systematized and characterized. The paper found that ML tools help to identify patterns and anomalies, create forecasts and analytical models, and optimize processes in real time. AI allows us to integrate new forecasting and analytics methods, which contributes to accurate, timely decision-making at all stages of data processing. AI technologies change traditional approaches to data analysis and modeling. They create new opportunities for rapid development of solutions, increasing the efficiency of business processes and optimizing information systems. AI helps specialists ensure high data quality, automate the detection of anomalies and improve forecasts to support the strategic development of organizations, particularly in a rapidly changing market environment.*

**Key words:** artificial intelligence, AI, machine learning, system analysis, data analysis, system analyst, big data, testing.

**Постановка проблеми.** Сучасне технологічне середовище стрімко розвивається, що зумовлює впровадження організаціями все більш складних інформаційних систем для підвищення продуктивності та ефективності діяльності. В основі таких систем лежить системний аналіз, який поєднує оцінювання, проектування та вдосконалення систем для ефективного задоволення потреб бізнесу. Робота системного аналітика полягає в аналізі великих обсягів даних, формулюванні бізнес-проблем та впровадженні інформаційних систем, які дозволяють трансформувати стратегічні рішення в конкретні технологічні продукти.

У сучасному світі ключову роль у розв'язанні складних бізнес-задач відіграють алгоритми штучного інтелекту (ШІ). ШІ дозволяє компаніям автоматизувати процеси, аналізувати великі обсяги даних у режимі реального часу, ідентифікувати потенційні проблеми та пропонувати шляхи їх вирішення. Цей підхід допомагає запобігати простоям, мінімізувати втрати та підвищувати загальну ефективність бізнесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізу використання ШІ в системному аналізі даних присвячено не так багато досліджень. У роботі [1] розглянуто виклики системного аналізу, архітектури. Автори статті [2] аналізують можливості використання ШІ для виявлення вимог клієнтів у розробці інформаційних систем. У статті [3] досліджено очікувані професійні навички від інженерів штучного інтелекту та тенденції їх навчання. У статті [4] розглянуто можливості ШІ-системи Data Formulator 2 для створення аналітиками даних ітеративних візуалізацій для дослідження даних. У роботі [5] досліджено можливості використання ШІ для виявлення, пом'якшення та запобігання кіберзагрозам. Стаття [6] досліджує інтеграцію ШІ та машинного навчання в прогностне управління бізнес-процесами.

Невирішеною частиною проблеми є відсутність в наявних наукових публікаціях досліджень ролі ШІ в роботі різних фахівців із системного аналізу даних. З'ясування та чітке розуміння цих аспектів є актуальним як для потенційних кандидатів на відповідні вакансії, так керівництва організацій.

**Постановка завдання.** Мета статті – проаналізувати роль та можливі сфери застосування алгоритмів ШІ та машинного навчання в роботі різних фахівців з аналізу великих даних.

**Виклад основного матеріалу.** Загалом професії з аналізу даних входять у список найбільш актуальних. Системні аналітики даних потрібні в самих різних

галузях: IT, медицині, фінансах, сільському господарстві, логістиці тощо. Вміння використовувати IT у системному аналізі надає численні переваги від покращення ефективності до покращення прийняття рішень та можливості моніторингу системи у режимі реального часу. Тим самим IT є невід'ємною частиною для аналізу систем.

Впровадження машинного навчання в аналітику даних зробило революцію в інтерпретації даних, надаючи безпрецедентну інформацію та полегшуючи прийняття рішень на основі даних у різних секторах. Розвиток машинного навчання та великих даних призвів до появи низки спеціалізованих професій у сфері системного аналізу даних, як-от: системний аналітик (System Analyst), інженер даних (Data Engineer), аналітик даних (Data Analyst), науковець з даних (Data Scientist), інженер з машинного навчання (Artificial Intelligence Engineer), інженер з машинного навчання (Machine Learning Engineer), спеціаліст з оброблення природної мови (NLP Specialist), бізнес-аналітик (Business Analyst) та інші [7]. Фахівці цих професій розв'язують доволі специфічні задачі і використовують для цього відповідний інструментарій на базі ШІ для покращення процесів аналізу, моделювання та ухвалення рішень.

1) **ШІ в роботі системного аналітика.** Системні аналітики (System Analysts) займаються стратегічним плануванням, аналізом бізнес-моделі, проектуванням процесів і системним аналізом [1]. Такий спектр задач потребує від системного аналітика володіння широким спектром операційних систем, програмного забезпечення та апаратних платформ.

Для потреб прогнозування та моделювання системні аналітики можуть використовувати відповідні інструменти, в тому числі і на основі ШІ. Так, для математичного моделювання, оброблення даних і виконання складних аналітичних задач використовують MATLAB, а для моделювання процесів з метою оптимізації систем – Simul8. Інструменти Microsoft Power BI та Tableau використовують для аналізу та візуалізації даних через інтеграцію з ШІ для автоматизації звітності [8]. Бібліотека для Python Scikit-learn надає прості у використанні інструменти для машинного навчання, які можуть бути використані для прогнозування та класифікації. Фреймворки TensorFlow та PyTorch можуть бути використані для створення та навчання глибоких нейронних мереж в складних аналітичних задачах [9]. Для виявлення трендів і патернів на великих обсягах даних корисними є ШІ-платформа IBM Watson Analytics та сервіс Microsoft Azure Machine Learning, які надають можливості для розробки та впровадження моделей машинного навчання в бізнес-процеси, аналізу даних, виявлення патернів і підтримки прийняття рішень [10]. Для автоматичного виявлення потенційних аномалій, ризиків або проблем у системах аналітики можуть використовувати ШІ, щоб проактивно реагувати на загрози. Так, платформи SAS Risk Management та RapidMiner використовують аналітичні моделі для виявлення аномалій, оцінки та прогнозування ризиків. ШІ може використовуватися для створення систем аналізу текстової інформації (Natural Language Processing, NLP), що дозволяє легше зрозуміти потреби користувачів і клієнтів. Потужні бібліотеки spaCy та NLTK (Natural Language Toolkit) дозволяють проводити аналіз тексту, виявляти сутності та виконувати інші завдання NLP. Крім того, ШІ може допомогти в розробці систем з автоматичного надання експертних рекомендацій на основі аналізу даних. Платформи UiPath та Blue Prism можуть бути інтегровані зі ШІ для автоматизації рутинних завдань бізнес-процесів [11]. Ці та подібні ШІ-інструменти дозволяють аналізувати дані і надавати рекомендації, що допомагає аналітикам оцінювати

різні сценарії та вибирати найкращі рішення. Тим самим використання ІІІ дозволяє системним аналітикам швидко адаптуватися до змін у бізнес-середовищі та технологіях, оскільки алгоритми можуть швидко обробляти нову інформацію. Інструменти ІІІ надають системним аналітикам потужні можливості для аналізу даних, оптимізації процесів та підтримки ухвалення рішень. Це покращує ефективність їхньої роботи і дозволяє зосередитися на стратегічних завданнях, які мають більший вплив на бізнес.

2) **ІІІ в роботі бізнес-аналітика.** Робота бізнес-аналітика і системного аналітика має багато спільного, хоча і має свої унікальні особливості. Системний аналітик більше орієнтований на технічні рішення та інтеграцію систем, тоді як бізнес-аналітик (Business Analyst) зосереджується на розумінні бізнес-потреб та оптимізації процесів. Обидва фахівці є важливими для успішного виконання проєктів, але працюють на різних етапах і з різними аспектами. Основна увага бізнес-аналітика сфокусована на оптимізації бізнес-процесів та підвищенні ефективності. В задачі його входить визначення та аналіз потреб бізнесу, вивчення вимог замовника, розробка стратегій, які відповідають бізнес-цілям і потребам. Саме на бізнес-аналітика покладають комунікацію з стейкхолдерами (бізнес-користувачами, менеджерами), підготовку звітів, аналіз даних для підтримки прийняття рішень.

Як і системні аналітики, бізнес-аналітики використовують інструменти ІІІ для підвищення ефективності аналізу бізнес-процесів, виявлення трендів та підтримки прийняття рішень. У контексті специфіки роботи бізнес-аналітиків, додатково до вище розглянутих інструментів, ці професіонали для аналізу та оптимізації бізнес-процесів можуть використовувати платформу Vizagi для моделювання бізнес-процесів, яка дозволяє візуалізувати та аналізувати процеси для їх подальшої оптимізації, та інструмент для управління бізнес-процесами Signavio, що надає можливості для моделювання, аналізу та вдосконалення [8]. Для розробки рекомендаційних систем, які допомагають бізнесу в адаптації до потреб клієнтів, корисними є платформи Microsoft Azure Cognitive Services та Amazon Personalize, оскільки вони допомагають бізнес-аналітикам створювати персоналізовані рекомендації для користувачів на основі їх поведінки. Google Cloud Natural Language API аналізує текстові дані, наприклад, відгуки клієнтів чи то коментарі, для виявлення настроїв та ключових тем. Платформи RapidMiner і RiskLens допомагають бізнес-аналітикам аналізувати дані для виявлення аномалій і прогнозування ризиків, оцінювати ризики та їхній вплив на бізнес [12]. У разі потреби аналізу конкурентів бізнес-аналітикам корисним є інструмент Crimson Hexagon для аналізу соціальних медіа, що дозволяє бізнес-аналітикам вивчати конкурентів і виявляти тренди на ринку, та платформа для SEO-аналітики SEMrush, яка дозволяє досліджувати конкурентів та їхні стратегії [13]. Загалом бізнес-аналітики можуть використовувати доволі широкий спектр інструментів для покращення точності та ефективності аналізу, оптимізації бізнес-процесів і ухвалення обґрунтованих рішень. Інтеграція ІІІ в їхню діяльність дозволяє швидше реагувати на зміни в бізнес-середовищі та адаптувати стратегії відповідно до потреб клієнтів і ринку.

3) **ІІІ в роботі аналітика даних.** Професіональна робота аналітика даних (Data Analyst) і системного аналітика (System Analyst) має дещо різні акценти та обов'язки. Аналітик даних зосереджений на роботі з даними для виявлення інсайтів і підтримки прийняття рішень, тоді як системний аналітик працює над технічними аспектами інформаційних систем, проєктуючи їх та втілюючи в життя. Обидві ролі є важливими для успішної роботи організації, але мають різні акценти і підходи.



ШІ-інструменти допомагають аналітикам даних отримувати глибші інсайти, автоматизувати процеси, підвищувати точність прогнозів і спростувати візуалізацію результатів. Алгоритми ШІ здатні виконувати складні статистичні розрахунки та візуалізувати результати, що допомагає виявляти тренди та робити кореляції [14]. Так, інструменти Tableau використовують машинне навчання для автоматизації деяких аналізів даних і є корисними для візуалізації даних, а ШІ-функції Power BI допомагають у прогнозуванні та виявленні аномалій у даних. Платформи Google Cloud AutoML та Amazon SageMaker дозволяють створювати моделі машинного навчання без глибоких знань програмування. Тим самим аналітики даних використовують алгоритми ШІ для створення предиктивних моделей, які допомагають прогнозувати майбутні результати на основі даних. Інструменти Forecasting Tools використовують алгоритми машинного навчання для прогнозування тенденцій, наприклад, Facebook Prophet [15]. Для аналізу тексту (NLP) з метою виявлення патернів і тональності, видобутку інсайтів і створення звітів на основі текстових даних у роботі аналітика даних корисними можуть бути інструменти IBM Watson та Google Natural Language API [16]. Їх використовують для очищення та структурування неконтрольованих текстових даних, тим самим ШІ може аналізувати відгуки, коментарі в соціальних мережах та інші тексти, щоб виявляти настрої клієнтів щодо продуктів чи то послуг. Аналітики даних можуть використовувати ШІ для автоматичного збору та оброблення потоків даних з різних джерел, як-от: API, вебсайти та бази даних, що знижує час, витрачений на рутинні завдання. Платформа Hadoop є корисною для оброблення та зберігання великих наборів даних, а Apache Spark – для аналізу великих даних з підтримкою машинного навчання. Платформа DataRobot автоматизує побудову моделей машинного навчання та генерує звіти, а Alteryx допомагає у підготовці даних та аналітиці засобами ШІ для автоматизації рутинних завдань [13]. Для створення систем рекомендацій, які пропонують клієнтам продукти на основі їх поведінки та вподобань, аналітики даних використовують ШІ-інструменти Collaborative Filtering Tools для створення рекомендацій на основі поведінки користувачів [17]. Отже, аналітики даних використовують широкий спектр інструментів ШІ для підвищення ефективності своїх процесів, покращення точності аналізу та оптимізації прийняття рішень. Це дозволяє їм зосередитися на стратегічних завданнях і більш складних питаннях, що потребують аналітичного мислення.

4) **ШІ в роботі науковця з даних.** Робота науковця з даних (Data Scientist) має деякі спільні риси з обов'язками системного аналітика, оскільки обидві ролі передбачають аналіз даних для прийняття рішень. Однак у науковця з даних більш технічна професія, яка стосується програмування та застосування складних математичних моделей. В його обов'язки входить робота з великими обсягами даних для побудови моделей, аналізу, прогнозування, виявлення патернів і трендів. Тому ці фахівці використовують статистичні методи, машинне навчання для того, щоб робити прогнози або виявляти корисну інформацію з даних [18], у той час, як системний аналітик більше орієнтований на функціональність системи та її інтеграцію в бізнес-середовище.

Професія Data Scientist вимагає глибоких знань у математиці, статистиці та програмуванні, а також здатності працювати з великими даними для виявлення інсайтів і створення моделей. Якщо системний аналітик переважно працює з UML-діаграмами, технічними специфікаціями, документацією, базами даних та інструментами для аналізу бізнес-процесів (наприклад, BPMN), то Data Scientist використовує різноманітні інструменти та технології для обробки та

аналізу великих даних, побудови моделей машинного навчання, їх тренування та впровадження, як-от: Python, R, SQL, Hadoop, Spark, TensorFlow, Scikit-learn, різноманітні бібліотеки для машинного навчання (Scikit-learn, randomForest, XGBoost – для базового машинного навчання (регресія, класифікація, кластеризація, зменшення розмірності), TensorFlow, Keras, PyTorch, caret, TensorFlow, Keras – для побудови глибоких та тренування нейронних мереж і глибокого навчання тощо) [13, 18]. Саме Data Scientist створює алгоритми для обробки даних і прогнозування. Оскільки роль Data Scientist охоплює широкий спектр задач – від обробки та аналізу даних до створення складних алгоритмів, – інструменти ШІ відіграють важливу роль в його роботі. Зазвичай Data Scientist входить до складу технічної команди або аналітичної групи, де його завдання – надавати глибокі інсайти з даних, допомагати компанії ухвалювати рішення на основі аналізу даних або створювати моделі для автоматизації прогнозування.

**5) ШІ в роботі інженера даних.** Основне завдання та фокус роботи інженера даних (Data Engineer) полягає в побудові інфраструктури для збору, зберігання, оброблення та передачі даних. Він працює над створенням і підтримкою ефективних процесів для оброблення великих обсягів даних.

Інженери даних можуть використовувати різні інструменти ШІ для автоматизації обробки даних, оркестрації пайплайнів, інтеграції різних джерел даних, а також для оптимізації машинного навчання [14]. Для обробки великих даних (Big Data) інженери даних використовують інструменти Apache Hadoop, Apache Spark, Apache Kafka, які підтримують інтеграцію з бібліотеками для машинного навчання та з іншими інструментами і системами для управління потоками даних у реальному часі. Інженери даних створюють пайплайни для обробки та передачі даних, і для цього вони використовують інструменти Apache Airflow, Luigi, Kubeflow, які дозволяють автоматизувати та оркеструвати ці процеси [13]. Для організації збору, очищення, трансформації і завантаження даних із різних джерел (ETL – Extract, Transform, Load) інженери даних використовують різні інструменти. Так, Apache NiFi дозволяє легко інтегрувати джерела даних і передавати їх між системами у реальному часі, що допомагає в автоматизації потоків даних між різними системами. Платформа Talend надає інструменти для розробки ETL процесів і підключення до різних джерел даних. Інструмент DBT (Data Build Tool) забезпечує управління SQL-скриптами для трансформації, інтеграції та оброблення даних у сховищах [16]. Оскільки інженери даних мають забезпечувати масштабованість своїх рішень для оброблення великих даних або обчислювальних задач, то вони використовують для цього відповідні інструменти для масштабованої обробки та аналізу даних, а саме: бібліотеку Dask, платформу Databricks та хмарний інструмент Google Cloud Dataproc для запуску та управління кластерами Hadoop та Spark. Інженери даних часто використовують хмарні сервіси для зберігання та обробки даних. Для цього вони можуть скористатись інструментами для хмарних обчислень та інфраструктури Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP) чи то Microsoft Azure. У роботі з поточковими даними в реальному часі інженери даних для моніторингу, прогнозування або аналітики можуть використовувати Apache Flink, Apache Storm та Amazon Kinesis, які підтримують складні операції на неперервних потоках обчислень. Для візуалізації даних інженери даних можуть використовувати інструменти Tableau та Microsoft Power BI, які дозволяють створювати інтерактивні дашборди для бізнес-звітів [8]. Для управління життєвим циклом моделей машинного навчання інженери даних працюють з інструментами для розгортання, тестування та моніторингу моделей

машинного навчання, створених Data Scientist, а саме: MLflow, Kubeflow Pipelines або TensorFlow Extended (TFX).

б) **ШІ в роботі аналітика з питань безпеки даних.** Специфіка роботи аналітика з питань безпеки даних (Data Security Analyst) полягає в захисті інформації та забезпеченні її цілісності, конфіденційності та доступності в межах організації. Для автоматизації процесів виявлення загроз, аналізу інцидентів, управління вразливостями та інших аспектів безпеки аналітика з питань безпеки даних використовують різні інструменти, зокрема і на базі ШІ.

Інструменти ШІ допомагають в обробленні великих обсягів даних, виявленні аномалій, прогнозуванні атак та покращенні ефективності виявлення нових загроз. ШІ допомагає виявляти незвичну поведінку користувачів або пристроїв (UEBA – User and Entity Behavior Analytics), що може бути ознакою компрометації акаунтів або атак типу "внутрішній зловмисник". ШІ-інструменти можуть аналізувати мережеві пакети, виявляти підозрілі патерни або аномалії в реальному часі і сигналізувати про можливі вторгнення. Системи виявлення загроз на основі машинного навчання можуть автоматично адаптуватися до нових типів атак, навчатися на основі даних і визначати відхилення від нормальної поведінки в мережі [19]. Так, SIEM-системи (Security Information and Event Management) зі ШІ, як-от: Splunk, IBM QRadar, Elastic Security та інші, використовують ШІ для агрегації, кореляції та аналізу великих даних із різних джерел (логи, мережеві пристрої, кінцеві точки). У поєднанні зі ШІ роботизовані процеси можуть автоматично виконувати рутинні задачі з блокування підозрілих IP-адрес, оновлення бази даних вразливостей або виконання аудиту доступів. Тип самим ШІ дозволяє автоматично виявляти аномалії та тренди, що свідчать про можливі інциденти безпеки. Інструменти NLP за допомогою аналізу тексту в листах допомагають аналітику з питань безпеки даних виявляти фішингові електронні листи та підроблені документи, які містять маніпулятивні чи то шкідливі повідомлення. Їхні алгоритми здатні навчатися на даних і визначати елементи, характерні для фішингових атак (наприклад, підозрілі вкладення, посилання на фальшиві вебсайти), тим самим фільтрувати контент за допомогою ШІ. Також алгоритми машинного навчання можуть рекомендувати найбільш вірогідні шляхи для усунення вразливостей. Тим самим ШІ можна використовувати для прогнозування потенційних атак за допомогою аналізу трендів у даних про вразливості. ШІ може використовуватися для автоматичної генерації сценаріїв відповіді на різні типи атак. Аналітики з питань безпеки даних використовують ШІ для виявлення нових типів програм-вимагачів, відслідковуючи патерни їх поведінки в мережах і на кінцевих пристроях. Інструменти глибокого навчання можуть навчатися на основі минулих інцидентів і виявляти шкідливі програми до того, як вони завдадуть шкоди. Використання інструментів ШІ може бути корисним і для автоматизації процесів реагування на загрози. Так, системи SOAR (Security Orchestration, Automation, and Response) можуть автоматично зупиняти зловмисні процеси, ізолювати заражені пристрої або автоматично запускати сценарії для дослідження інцидентів [5]. Використання глибоких нейронних мереж для виявлення чутливих даних, які потребують додаткового рівня шифрування, дозволяє використовувати ШІ для створення ефективних і динамічних механізмів шифрування, які враховують контекст даних і адаптуються до змін у середовищі загроз. ШІ допомагає в розробці нових криптографічних алгоритмів, а також у виявленні слабких місць у наявних методах шифрування. Тим самим використання ШІ в роботі аналітика з питань безпеки даних покращує ефективність виявлення загроз, дозволяє швидко реагувати на інциденти та оптимізувати

різні аспекти безпеки. Алгоритми машинного та глибинного навчання дозволяють виявляти не тільки відомі загрози, а й нові, раніше невідомі уразливості та атаки, що є критично важливим за умов постійного зростання кіберзагроз.

7) **ШІ в роботі ВІ-аналітика.** Аналітики з бізнес-аналітики (Business Intelligence Analyst або ВІ-аналітик) використовують інструменти ШІ для покращення процесів збору, обробки та аналізу даних, а також для отримання глибоких інсайтів, прогнозування та прийняття рішень. ШІ допомагає автоматизувати рутинні завдання, виявляти приховані закономірності в даних, прогнозувати тенденції та робити рекомендації для покращення бізнес-процесів.

Для автоматичного аналізу та візуалізації даних ВІ-аналітик може використовувати інструменти Microsoft Power BI, Tableau Prep, Qlik Sense, TIBCO Spotfire тощо. Вони, завдяки алгоритмам машинного навчання, здатні чистити та трансформувати дані, надавати автоматичні рекомендації по візуалізації даних, а також прогнозувати тренди. Для прогнозувальної аналітики таким фахівцям потрібні інструменти Alteryx, RapidMiner або SAS Analytics, які здатні аналізувати дані з різних джерел та створювати прогностичні моделі задля прийняття рішень на основі передбачуваних тенденцій [6]. Для аналізу великих даних ВІ-аналітики використовують ШІ-інструменти Apache Spark, Google BigQuery, що підтримують автоматичне виявлення трендів, класифікацію даних та створення прогностичних моделей. Крім того, популярними інструментами для ВІ-аналітиків є H2O.ai та DataRobot, які використовують алгоритми машинного навчання для побудови та автоматичного налаштування моделей прогнозування й аналізу даних, не потребуючи глибоких знань з програмування. У своїй діяльності ВІ-аналітик може використовувати можливості NLP в інструментах IBM Watson Analytics та Google Cloud Natural Language API для автоматичного аналізу текстових даних (відгуки клієнтів, соціальні медіа, відгуки, документи тощо) для видобування цінної інформації і виявлення патернів. Цей підхід дозволяє бізнес-аналітикам отримувати інсайти зі складних текстових джерел, визначати настрої клієнтів, категорії і ключові теми в текстах, що допомагає в прийнятті рішень на основі текстових даних. Для управління взаємодією з клієнтами (CRM), автоматизації аналітики та прогнозування поведінки клієнтів з наданням рекомендацій щодо подальших кроків у взаємодії з клієнтами корисними є інструменти платформ Salesforce Einstein, Zoho Analytics та HubSpot AI, які дозволяють ВІ-аналітикам знаходити стратегії для покращення клієнтського досвіду. Отже, ШІ допомагає ВІ-аналітикам отримувати точні, глибокі інсайти з даних, прогнозувати тренди, автоматизувати рутинні завдання й ухвалювати обґрунтовані рішення. Використання інструментів ШІ в бізнес-аналітиці прискорює процеси аналізу, покращує точність прогнозів та робить бізнес-стратегії більш адаптивними до змін у середовищі.

8) **ШІ в роботі інженера з машинного навчання.** Інженер з машинного навчання (Machine Learning Engineer) є фахівцем зі створення, розробки та впровадження моделей машинного навчання, зокрема тих, які застосовують у реальних, масштабованих виробничих системах. Специфіка роботи цього фахівця полягає в тому, що він поєднує знання з програмування, математичного моделювання, статистики та інженерії для створення систем, які можуть автоматично навчатися на даних та ухвалювати рішення. Саме інженер з машинного навчання бере на себе всю технічну складову процесу створення, впровадження та підтримки моделей машинного навчання у реальних продуктивних системах. Його обов'язки охоплюють різні етапи – від збору й оброблення даних до оптимізації і деплою моделей, що працюють на великих обсягах даних та інтегровані в бізнес-процеси компанії.

Так, інженер з машинного навчання відповідає за збір, очищення, оброблення та трансформацію даних, необхідних для тренування моделей. Це стосується усунення пропущених значень, видалення аномалій і шумів, нормалізацію та стандартизацію даних. Інженер проводить детальний аналіз даних, щоб зрозуміти їхню структуру, виявити закономірності та особливості, що можуть вплинути на подальшу побудову моделей. Вибір відповідних алгоритмів машинного навчання (як класичних, так і для глибокого навчання) залежить від специфіки задачі (класифікація, регресія, кластеризація, виявлення аномалій тощо). Інженер з машинного навчання тестує різні підходи та моделі. Після вибору моделі її потрібно навчити на наданих даних, налаштовуючи гіперпараметри та оптимізуючи модель. Інженер з машинного навчання створює документацію до моделей, включаючи опис алгоритмів, вибір гіперпараметрів, результати тестувань, методи підготовки даних та інтерфейси API. Оскільки машинне навчання є стрімко обновлюваною галуззю, інженери мають постійно вдосконалювати свої знання і стежити за останніми науковими розробками, новими алгоритмами і підходами. Вони можуть брати участь у наукових дослідженнях або експериментувати з новими методами моделювання для покращення результатів. Для цих фахівців корисним є розуміння того, як побудувати масштабовані рішення для великих наборів даних, знання алгоритмів оптимізації та ефективних методів обчислень [15]. Аналітики та інженери з машинного навчання використовують широкий спектр інструментів для того, щоб обробляти великі обсяги даних, будувати та тестувати моделі, оптимізувати та ефективно впроваджувати їх у виробниче середовище. Кожен з цих інструментів розв'язує конкретні задачі, починаючи від збору й оброблення даних до деплою моделей та автоматизації робочих процесів.

9) **ШІ в роботі спеціаліста з оброблення природної мови.** Спеціаліст з оброблення природної мови (NLP Specialist) займається розробкою та оптимізацією технологій, що дозволяють комп'ютерам розуміти, генерувати і взаємодіяти з текстами або мовленням. Це потребує поєднання навичок програмування, математичного моделювання, використання різних інструментів та бібліотек для відповідного оброблення даних.

Цей фахівець використовує інструменти ШІ для розв'язання широкого спектра професійних завдань, які пов'язані з аналізом, обробленням та генерацією тексту засобами природних мов, серед яких: класифікація тексту, аналіз настроїв, виділення сутностей, тематичне моделювання, машинний переклад, синтаксичний аналіз, генерація тексту, моделювання діалогів, розпізнавання мовлення, обробка запитів і відповідей, анотація та інтерпретація тексту, визначення семантичних схожостей, аналіз документів та інформаційний пошук [20]. Прикладами застосування може бути: автоматичне сортування електронних листів за категоріями (спам, важливі, рекламні), аналіз новин, класифікація документів за темами (фінанси, політика, наука) чи то аналіз відгуків клієнтів, соцмереж, опитувань для виявлення ставлення до продукту або послуги, оцінка настроїв у новинах чи публікаціях. Для цього можуть бути використані моделі машинного навчання (наприклад, Naive Bayes, SVM), глибоке навчання (наприклад, BERT, GPT), бібліотеки scikit-learn, Hugging Face Transformers, інструменти VADER, TextBlob, BERT, GPT, бібліотеки spaCy, Hugging Face Transformers для тренування моделей для задач аналізу настроїв. Для автоматичного перекладу текстів з однієї мови на іншу, автоматичного синтаксичного аналізу структури речення в чат-ботах або пошукових системах, автоматичної генерації тексту на основі заданих параметрів чи контексту корисними є ШІ-інструменти: Google Translate API, DeepL, MarianMT, Hugging

Face – для використання або тренування моделей перекладу; spaCy, Stanford NLP, AllenNLP, BERT – для отримання синтаксичних дерев при аналізі тексту; GPT-3 (від OpenAI), T5, BERT, GPT-2, Transformer-based models – для генерації тексту при створенні автоматизованих відповідей у чат-ботах, генерації описів товарів і новин, написання статей або креативних текстів; Rasa, Dialogflow, Microsoft Bot Framework, GPT-3, BERT – для створення і тренування чат-ботів, віртуальних помічників та систем діалогів, здатних підтримувати розмову з користувачем [20]. Спеціалісти з обробки природної мови застосовують інструменти ШІ для розв’язання широкого кола задач (генерація тексту, роботу з мовними моделями, аналіз тексту), а також для автоматизації процесів, що вимагають розуміння й інтерпретації людської мови. Основні інструменти, які вони використовують, це бібліотеки і фреймворки для машинного та глибокого навчання (наприклад, spaCy, TensorFlow, PyTorch, Hugging Face), що дозволяють створювати моделі для обробки великих обсягів текстових даних та інтегрувати їх у різні бізнес-процеси.

10) **ШІ в роботі архітектора даних.** Архітектор даних (Data Architect) має забезпечити оптимальну продуктивність інфраструктури даних, щоб вона могла масштабуватися відповідно до зростання обсягів даних та вимог бізнесу. Це стосується вибору ефективних методів зберігання та обробки даних, а також налаштування системи для швидкого оброблення великих обсягів запитів. Архітектори даних тісно працюють із командами розробників, аналітиків, бізнес-спеціалістів та іншими фахівцями. Вони мають розуміти вимоги бізнесу і забезпечувати доступність і готовність даних до використання для підтримки прийняття рішень [21].

У своїй роботі архітектори даних можуть використовувати інструменти ШІ для покращення ефективності проєктування, управління та аналізу даних. Так, інструменти Apache NiFi та Talend, завдяки інтеграції з машинним навчанням, є корисними для автоматизації виявлення аномалій і покращення якості даних під час трансформації. ШІ допомагає архітекторові даних покращити якість даних, автоматизувати виявлення помилок, пропусків та аномалій, а також рекомендувати методи їх виправлення за допомогою відповідних інструментів DataRobot, Trifacta чи то Informatica Data Quality. Корисними архітекторові даних інструментами для аналізу даних і створення прогнозних моделей є Apache Spark + MLlib, H2O.ai, Google AI Platform, які дозволяють інтегрувати потужні аналітичні можливості в архітектуру даних для прогнозування, виявлення трендів і аномалій у великих наборах даних. Для аналізу великих обсягів даних та створення інтерактивних аналітичних панелей архітектор даних активно застосовує інструменти Cloudera та Databricks на Apache Spark, що допомагають йому будувати складні аналітичні рішення [22]. Для автоматичного створення або оптимізації схем баз даних на основі даних корисними є інструменти ERwin Data Modeler та Oracle Autonomous Database, які використовують алгоритми ШІ для автоматизації багатьох процесів у базах даних, як-от: оптимізація запитів, безпека та оновлення схем. Завдяки машинному навчанню інструментів Splunk та Anodot архітектори даних можуть автоматизувати виявлення аномалій і зловживань у даних, що важливо для безпеки і коректності даних. Крім того, ШІ в інструментах Tableau та Power BI полегшує процес візуалізації даних і створення звітів. Також архітектори даних використовують ШІ для автоматизації процесів ETL, забезпечення якості даних, виявлення аномалій та для оптимізації інфраструктури і прогнозування майбутніх тенденцій. Технології ШІ допомагають створювати гнучкі та масштабовані архітектури даних, що відповідають вимогам бізнесу та технологічним інноваціям.

Кожна з розглянутих професій має свої специфічні завдання та компетенції і при цьому вони можуть дещо перетинатися. Такі фахівці часто працюють у командах задля досягнення спільних цілей у сфері системного аналізу. Для розв'язання проблем в рамках бізнес-процесів вони використовують доволі широкий спектр відповідних інструментів, у тому числі і на базі ШІ.

**Висновки.** Стрімке зростання потоків великих даних із різних джерел суттєво ускладнило ландшафт задач в системному аналізі даних. Тому інструменти ШІ стають незамінним помічником для системних аналітиків, адже вони здатні полегшити аналіз, категоризацію та очищення великих даних, надають можливість аналітикам напрацьовувати важливі рішення. За допомогою ШІ аналітики можуть ефективно орієнтуватися в океані даних, перетворюючи їх на стратегічний актив, який інформує та формує траєкторію розвитку інформаційних систем. Тим самим ШІ виступає трансформаційною силою, яка розширює можливості системних аналітиків і забезпечує узгодження інформаційних систем з різноманітними, мінливими потребами клієнтів і зацікавлених сторін. Інструменти на основі ШІ допомагають фахівцям у сфері системного аналізу в автоматизації рутинних завдань збору та аналізу даних, що, в свою чергу, дозволяє їм зосередитися на більш складних аспектах системного аналізу. Алгоритми машинного навчання допомагають автоматизувати побудову аналітичних моделей. Ці алгоритми здатні навчатися на основі даних, визначати закономірності та ухвалювати рішення з мінімальним втручанням людини. Їх застосування в аналітиці даних охоплює сфери сегментації клієнтів, виявлення шахрайств та аналізу ринку. У майбутньому використання цієї інноваційної технології матиме вирішальне значення для сфери аналізу систем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Dahmann Ju., DeLaurenits D. Unique Challenges in System of Systems Analysis, Architecting, and Engineering. *Systems Engineering for the Digital Age*. 2023. P. 581-600. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394203314.ch28>
2. Aleryani A. Eliciting Client Requirements in Developing Information Systems Using Artificial Intelligence (Opportunities and Challenges). *International Journal of Recent Engineering Science*. 2024. Vol. 11(3). P. 126-133. DOI: <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V11I3P115>
3. Ozkaya I. An AI Engineer Versus a Software Engineer. *IEEE Software*. 2022. Vol. 39, Issue: 6. P. 4-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/MS.2022.3161756>
4. Wang Ch., Lee B., Drucker S., Marshall D., Gao J. Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. *arXiv*. 2024. Vol. 2408.16119. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>
5. Johnson K., Lawrence A. AI/ML in Security Orchestration, Automation and Response: Future Research Directions. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2021. Vol. 28(2). P. 527-545. DOI: <https://doi.org/10.32604/iasc.2021.016240>
6. Abbasi M., Nishat R., Bond C., Graham-Knight B., Lasserre P., Lucet Y., Najjaran H. A Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches). *arXiv*. 2024. Vol. 2407.11043. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.11043>
7. Стрілець, М.І., Трофименко, О.Г. (2024). Стратегії та перспективи розвитку системного аналізу з впровадженням штучного інтелекту. *Актуальні питання автоматизації та інформаційних технологій (АІІТ-2024)*: матер. III всеукр. наук.-практ. конф., 21–22 листопада 2024 р., Кременчук. <https://atit.kdu.edu.ua/publ.php>
8. Wang Ch., Lee B., Drucker S., Marshall D., Gao J. Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. *arXiv*. 2024. Vol. 2408.16119. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>

9. Role of Artificial Intelligence (AI) in System Design. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/role-of-artificial-intelligenceai-in-system-design/>
10. Andersen G. Systems Analysis in Artificial Intelligence: Leveraging AI Technologies for Success. URL: <https://moldstud.com/articles/p-systems-analysis-in-artificial-intelligence-leveraging-ai-technologies-for-success>
11. Crudu A. The Impact of Artificial Intelligence on Systems Analysis: What You Need to Know. URL: <https://moldstud.com/articles/p-the-impact-of-artificial-intelligence-on-systems-analysis-what-you-need-to-know>
12. AI Analytics. URL: <https://www.anodot.com/learning-center/ai-analytics/>
13. Saharawat V. 15 Different Types of Data Scientists In 2024. URL: <https://pwwskills.com/blog/15-different-types-of-data-scientists-in-2024/>
14. Data scientist, data analyst, data engineer. URL: <https://robotdreams.cc/uk/blog/18-data-scientist-data-analyst-data-engineer>
15. Torovets T. From Data Analyst to ML Engineer. URL: <https://dou.ua/lenta/columns/choosing-position-in-data-science/>
16. Srijani S. Top 13 Data Analyst Career Paths You Should Know About. URL: <https://advisoruncle.com/data-analyst-career/>
17. Crabtree M., Nehme A. What is Data Analysis? An Expert Guide With Examples. URL: <https://www.datacamp.com/blog/what-is-data-analysis-expert-guide>
18. Bimbi A. Becoming an AI Data Scientist: skills and job opportunities. URL: <https://www.ai-scaleup.com/articles/jobs/ai-data-scientist/>
19. Трофименко О. Г., Соколов А. В., Чикунов П. О., Ахмаметьєва Г. В., Манаків С. Ю. Штучний інтелект у військовій кіберсфері. *Технології та інжиніринг*. 2024. № 4(21). С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.8>.
20. Natural Language Processing (NLP) Specialist. URL: <https://www.multiplymii.com/job-description/natural-language-processing-nlp-specialist>
21. Data Architect: Roles, Responsibilities and How to Become One? URL: <https://atlan.com/data-architect-roles-and-responsibilities/>
22. Data Architect. URL: <https://justjoin.it/job-offer/techtorch-data-architect-lodz-data>

#### REFERENCES:

1. Dahmann, Ju. & DeLaurenits, D. (2023). Unique Challenges in System of Systems Analysis, Architecting, and Engineering. *Systems Engineering for the Digital Age*, 581-600. <https://doi.org/10.1002/9781394203314.ch28>
2. Aleryani, A. (2024). Eliciting Client Requirements in Developing Information Systems Using Artificial Intelligence (Opportunities and Challenges). *International Journal of Recent Engineering Science*, 11(3), 126-133. <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V11I3P115>
3. Ozkaya, I. (2022). An AI Engineer Versus a Software Engineer. *IEEE Software*, 39(6), 4-7. <https://doi.org/10.1109/MS.2022.3161756>.
4. Wang, Ch., Lee B., Drucker, S., Marshall, D., & Gao, J. (2024). Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. *arXiv*, 2408.16119. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>
5. Johnson, K. & Lawrence, A. (2021). AI/ML in Security Orchestration, Automation and Response: Future Research Directions. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 28(2), 527-545. <https://doi.org/10.32604/iasc.2021.016240>
6. Abbasi, M., Nishat, R., Bond, C., Graham-Knight, B., Lasserre, P., Lucet, Y., & Najjaran, H. A (2024). Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches). *arXiv*, 2407.11043. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.11043>
7. Трофименко, О.Г. & Стрелетс, М.І. (2024). Стратегії та перспективи розвитку системного аналізу з впровадженням штучного інтелекту. [Strategies and prospects for the development of systems analysis with the introduction of artificial intelligence].



3rd All-Ukrainian scientific and practical conference "Current issues of automation and information technologies", Kremenchug, November 21-22. <https://atit.kdu.edu.ua/publ.php> [in Ukrainian].

8. Wang Ch., Lee B., Drucker S., Marshall D., Gao J. Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. arXiv. 2024. Vol. 2408.16119. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>

9. Role of Artificial Intelligence (AI) in System Design. <https://www.geeksforgeeks.org/role-of-artificial-intelligenceai-in-system-design/>

10. Andersen, G. Systems Analysis in Artificial Intelligence: Leveraging AI Technologies for Success. <https://moldstud.com/articles/p-systems-analysis-in-artificial-intelligence-leveraging-ai-technologies-for-success>

11. Crudu, A. The Impact of Artificial Intelligence on Systems Analysis: What You Need to Know. <https://moldstud.com/articles/p-the-impact-of-artificial-intelligence-on-systems-analysis-what-you-need-to-know>

12. AI Analytics. <https://www.anodot.com/learning-center/ai-analytics/>

13. Saharawat, V. 15 Different Types of Data Scientists in 2024. <https://pwwskills.com/blog/15-different-types-of-data-scientists-in-2024/>

14. Data scientist, data analyst, data engineer. <https://robotdreams.cc/uk/blog/18-data-scientist-data-analyst-data-engineer>

15. Torovets, T. From Data Analyst to ML Engineer. <https://dou.ua/lenta/columns/choosing-position-in-data-science/>

16. Srijani, S. Top 13 Data Analyst Career Paths You Should Know About. <https://advisoruncle.com/data-analyst-career/>

17. Crabtree, M. & Nehme, A. What is Data Analysis? An Expert Guide With Examples. <https://www.datacamp.com/blog/what-is-data-analysis-expert-guide>

18. Bimbi, A. Becoming an AI Data Scientist: skills and job opportunities. <https://www.ai-scaleup.com/articles/jobs/ai-data-scientist/>

19. Trofymenko, O.G., Sokolov, A. V., Chykunov P. O., Akhmametiyeva H. V., & Manakov S. Yu. (2024). Shtuchnyi intelekt u viiskovii kibersferi [AI in the military cyber domain]. *Technologies and Engineering*, 4(21), 85-92. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.8> [in Ukrainian]

20. Natural Language Processing (NLP) Specialist. <https://www.multiplymii.com/job-description/natural-language-processing-nlp-specialist>

21. Data Architect: Roles, Responsibilities and How to Become One? <https://atlan.com/data-architect-roles-and-responsibilities/>

22. Data Architect. <https://justjoin.it/job-offer/techtorch-data-architect-lodz-data>

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.10>

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ МЕТОДОМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

**Тузова І. А.** – доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0009-0002-4198-378X

**Тузов О. В.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0009-0006-5443-4957

**Панченко Т. Д.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0009-0007-4629-9537

**Чумак О. А.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0009-0002-5802-9765

**Коновалов С. М.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-2533-8660

У статті запропоновано метод розрахунку оцінки якості програмного засобу (ПЗ) за допомогою експертних оцінок. Цей метод базується на обчисленні оцінок експертів за певним набором критеріїв, що максимально повно зображають якість ПЗ по різним параметрам. Для оцінювання якості програмного забезпечення було відібрано і проаналізовано десять показників якості для ПЗ, що найбільш всебічно характеризують програмний засіб із позицій адаптованості до галузі застосування і подальшого вдосконалення за побажанням клієнта. У оцінці даного ПЗ прийняли участь 8 експертів. Після проведення опитування експертів, були отримані оцінки для кожного показника якості та розраховане середнє значення якості ПЗ.

Кількість користувачів програмного забезпечення із часом може змінюватися, також змінюватиметься оцінка від користувачів. Оскільки експерти із цієї групи можуть змінюватися і їх оцінка також змінюється то було вирішено назвати експертів із цієї групи – динамічні експерти. Розроблений метод враховує оцінки від експертів із динамічної групи в певний момент часу, наприклад, в момент випуску першої версії розроблюваного ПЗ і в момент випуску наступної версії ПЗ. Між цими двома часовими відмітками кінцеві користувачі можуть змінювати своє ставлення до якості ПЗ.

Методика отримання експертних оцінок значень показників якості з метою методологічної єдності повинні ґрунтуватися на загальному методі оцінки якості, правилах вибору номенклатури показників якості та діючих методичних матеріалах по оцінці заданого показника якості оцінюваного ПЗ.

Експертам пропонується дати рангову оцінку наперед визначеної кількості показників якості продукції. Рангова оцінка зводиться до позначення ступеня важливості кожного показника рангом.

Узгодженість думок експертів відносно важливості кожної властивості оцінюють як коефіцієнт варіації думок експертів за кожним і-им показником якості. Чим більше

значення коефіцієнту, тим менше узгодженість думок експертів відносно важливості  $i$ -го показника. При коефіцієнті  $< 10\%$  узгодженість думок експертів вважають високою, при коефіцієнті  $> 35\%$  – низькою.

Для оцінювання загальної узгодженості думок експертів визначають коефіцієнт конкордації. Узгодженість думок експертів буде тим краще, чим ближче коефіцієнт конкордації ( $W$ ) до одиниці. Значення  $W=0$  свідчить про повну байдужість або неузгодженість думок експертів.

Останнім кроком оцінюють значення кожного одиничного показника якості з урахуванням його коефіцієнта значущості та загальне середнє значення якості ПЗ.

**Ключові слова:** експертна оцінка, показники якості, верифікація, валідація, життєвий цикл, коефіцієнт значущості.

#### **Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A., Kononov S. M. Software quality assessment using expert assessment**

The article presents a method of calculating the quality assessment of the software tool Visual Studio Code by an expert method is proposed. This method is based on the calculation of experts' evaluations according to a certain set of criteria that most fully depict the quality of the software according to various parameters. To evaluate the quality of the software, ten quality indicators for the software were selected and analyzed, which most comprehensively characterize the software in terms of adaptability to the field of application and further improvement at the request of the client. 8 experts took part in the evaluation of this software. After conducting a survey of experts, scores were obtained for each quality indicator and the average value of software quality was calculated.

The number of users of the software may change over time, and so will user ratings. Since experts from this group can change and their assessment also changes, it was decided to call experts from this group dynamic experts. The developed method takes into account assessments from experts from a dynamic group at a certain point in time, for example, at the time of the release of the first version of the developed software and at the time of the release of the next version of the software. Between these two time stamps, end users can change their attitude towards software quality.

The methods of obtaining expert assessments of the values of quality indicators for the purpose of methodological unity should be based on the general method of quality assessment, the rules for choosing the nomenclature of quality indicators and current methodical materials for the assessment of a given quality indicator of the evaluated software.

Experts are invited to give a rank assessment of a predetermined number of product quality indicators. Rank assessment is reduced to indicating the degree of importance of each indicator by rank.

The agreement of experts' opinions regarding the importance of each property is evaluated as the coefficient of variation of experts' opinions for each and every quality indicator. The larger the value of the coefficient, the lower the consistency of experts' opinions regarding the importance of the  $i$ -th indicator. If the ratio is  $< 10\%$ , the agreement of experts' opinions is considered high, if the ratio is  $< 15\%$ , it is above average, if the ratio is  $< 35\%$ , it is below average, and if the ratio is  $> 35\%$ , it is considered low.

The concordance coefficient is determined to assess the overall consistency of experts' opinions. The agreement of experts' opinions will be better, the closer the concordance coefficient ( $W$ ) is to one. The value  $W=0$  indicates complete indifference or inconsistency of experts' opinions.

The last step is to evaluate the value of each single quality indicator, taking into account its significance coefficient and the overall average value of software quality.

**Key words:** peer review, quality indicators, verification, validation, life cycle, what is the significance factor.

**Вступ.** Методи експертних оцінок – це спосіб прогнозування та оцінки майбутніх результатів дій на основі прогнозів фахівців. Вони застосовуються у випадках, коли завдання повністю або частково не піддається формалізації і не може бути вирішене відомими математичними методами.

Для проведення оцінки якості програмного забезпечення попередньо визначаються базові значення показників для аналогу, прийнятого за еталон про розробці даного програмного забезпечення. Значення базових показників мають відбивати сучасний світовий рівень розробок. На роль аналогів вибирається реальне програмне забезпечення того самого функціонального призначення, що й порівнюване, з такими ж основними параметрами, що й дана структура, і схожими умовами експлуатації.

**Метою статті** є дослідження методики оцінки якості, правил вибору номенклатури показників якості та діючих методичних матеріалів по оцінці заданого показника якості оцінюваного ПЗ та напрацювання рекомендацій щодо практичного використання методу експертних оцінок в Україні.

**Огляд останніх досліджень та літератури.** Розробка програмного забезпечення (ПЗ) потребує контроль за якістю функціонування на кожному із запланованих етапів розробки. Стеження за показниками якості на протязі всього процесу розробки і супроводу ПЗ надає можливість контролювати і покращувати кінцевий продукт. Методи забезпечення контролю якості ПЗ на всіх етапах розробки, націлені на підвищення ступеня задоволення клієнтів від покращення якості і зручності застосування на виробництві.

Професійний підхід до управління якістю базується на тому, що якість це чітко визначена величина, яку можна виміряти і проконтролювати, вона піддається управлінню і поліпшенню [6].

Знання поточного значення показників якості програмного забезпечення дозволяє побачити наскільки далеко воно знаходиться від критичного значення. Дає можливість стежити за зміною поточного значення, завдяки чому можна прогнозувати і планувати термін завершення розробки або перехід до наступного етапу. Було розглянуто та прийнято за основу метод експертної оцінки якості програмного забезпечення із використанням нейронної мережі із зворотнім розповсюдженням, що дозволяє відстежувати динаміку зміни якості на всіх етапах розробки. Цей метод розроблено науковцями Вінницького національного технічного університету кафедри «Моделювання та моніторингу складних систем» та використано при реалізації методики оцінки якості матеріалів дистанційних електронних курсів у Центрі дистанційного навчання Вінницького національного технічного університету [7].

Аналіз якості в програмній інженерії орієнтований на:

- досягнення необхідної якості програмного забезпечення відповідно до встановлених критеріїв;
- верифікацію і валідацію на етапах життєвого циклу та оцінку якості виробленого програмного продукту [5, с. 142];
- забезпечення надійності як основної характеристики гарантії якості програмного забезпечення (SQAs – Software Quality Assurance [1]).

Визначені напрями програмної інженерії розглядаються на всіх етапах життєвого циклу програмного продукту, тобто аналіз і забезпечення якості проводиться за всіма видами діяльності у вирішенні задач планування, розробки і підтримки процесів створення програмного забезпечення.

Основні стандартні положення зі створення якісного продукту й оцінки рівня досягнутої якості зафіксовано в міжнародних [1] та вітчизняних стандартах [2–4]. Залежно від специфіки програмних продуктів стандарти пропонують термінологію та склад показників (атрибутів) якості. Вони утворюють базові знання і визначають планування, проектування, аналіз, вимірювання та поліпшення якості.

Якість програмного забезпечення визначається набором загальних характеристик, на формулювання яких спрямовані процеси інженерії вимог як складової частини програмної інженерії. Визначення характеристик якості відображає погляд користувача на якість програмного забезпечення. Відповідно до стандарту ISO-9126 [1] визначено шість характеристик:

1. функціональність,
2. надійність,

3. зручність,
4. ефективність,
5. супроводжуваність,
6. переносність.

Для проведення оцінки якості програмного забезпечення попередньо визначаються базові значення показників для аналогу, прийнятого за еталон про розробці даного програмного забезпечення. Значення базових показників мають відбивати сучасний світовий рівень розробок. На роль аналогів вибирається реальне програмне забезпечення того самого функціонального призначення, що й порівнюване, з такими ж основними параметрами, що й дана структура, і схожими умовами експлуатації.

Таким чином, аналіз якості є діяльністю, що включає процеси управління, інфраструктуру програмної інженерії, тестування, інженерію вимог. Характеристики якості визначають споживчі властивості і мають вартісний вираз, що включає оцінку витрат на процес розробки та експлуатації, оцінку економічних вигод застосування вказаних програм порівняно з іншими засобами вирішення відповідного прикладного завдання, а також перспектив подальшого використання даного програмного забезпечення в умовах зміни середовища функціонування.

**Виклад основного матеріалу.** Методи експертних оцінок – це спосіб прогнозування та оцінки майбутніх результатів дій на основі прогнозів фахівців. Вони застосовуються у випадках, коли завдання повністю або частково не піддається формалізації і не може бути вирішене відомими математичними методами [8].

Визначення характеристик показників якості експертним методом передбачає наступний порядок дій:

- підбір і підготовка групи експертів;
- постановка завдання експертам;
- контроль роботи експертів;
- збір думок (оцінок) експертів;
- оцінка компетентності та сумлінності групи експертів;
- розрахунок експертної оцінки.

Загальними вимогами, які пред'являються до фахівців, що залучаються як експерти, прийнято вважати їх достатню професійну кваліфікацію й інформованість з обговорюваного питання, діловитість і об'єктивність. Важливою умовою, якій повинен відповідати експерт, є відсутність зацікавленості в конкретному результаті експертизи. Число експертів залежить від необхідної точності оцінок, допустимої трудомісткості процедур, а також можливостей організації роботи групи експертів. На практиці оптимальне число експертів складає 7–12 чоловік.

Методики отримання експертних оцінок значень показників якості з метою методологічного єдності повинні ґрунтуватися на загальному методі оцінки якості, правилах вибору номенклатури показників якості та діючих методичних матеріалах по оцінці заданого показника якості оцінюваного ПЗ.

Опитування експертів може проводитися у формі очного або заочного анкетування. Експертам пропонується дати рангову оцінку наперед визначеної кількості показників якості продукції. Рангова оцінка зводиться до позначення ступеня важливості кожного показника рангом. Найважливіший показник позначають рангом  $R_{ij} = 1$ , а як найменше значущий – рангом  $R_{ij} = n$ , де  $n$  – число оцінюваних одиничних показників. Якщо експерт вважає, що декілька показників рівноцінні по значущості, то їм присвоюються рівні ранги, але сума їх повинна бути рівною сумі місць при їх послідовному розташуванні.

Узгодженість думок експертів відносно важливості кожної властивості оцінюють за формулою [8]:

$$v_i = \frac{\sigma_i}{R_i}, \quad (1)$$

де  $v_i$  – коефіцієнт варіації думок експертів за кожним  $i$ -им показником якості;

$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (R_{ij} - \bar{R}_i)^2}{m-1}}$  – середнє квадратичне відхилення думок експертів відносно за кожним  $i$ -им показником якості;

$\bar{R}_i$  – середній за всіма експертами ранг  $i$ -го показника якості;

$R_{ij}$  – ранг  $i$ -го показника якості, проставлений  $j$ -им експертом;

$m$  – число експертів.

Чим більше значення  $v_i$ , тим менше узгодженість думок експертів відносно важливості  $i$ -го показника. Так, наприклад, при  $v_i < 10\%$  узгодженість думок експертів вважають високою, а при  $v_i > 35\%$  – низькою.

Для оцінювання загальної узгодженості думок експертів визначають коефіцієнт конкордації за формулою:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m F_j}, \quad (2)$$

де  $S_i$  – сума рангових оцінок експертів за кожним  $i$ -им одиничним показником якості;

$\bar{S} = 0,5m(n+1)$  – середня сума рангів для всіх показників;

$n$  – число одиничних показників;

$F_j = 12^{-1} \sum_{g=1}^n (t_g^3 - t_g)$  – показник однаковості  $j$ -го експерта;

$u$  – число оцінок з однаковими рангами у  $j$ -го експерта;

$t_g$  – число однакових рангів у кожній  $g$ -тій оцінці  $j$ -го експерта.

Значення  $W$  можуть знаходитися в межах від нуля до одиниці.

Узгодженість думок експертів буде тим краще, чим ближче  $W$  до одиниці. Значення  $W=0$  свідчить про повну байдужість або неузгодженість думок експертів.

При  $W > 0,5$  можна розраховувати коефіцієнти значущості  $\alpha_i$  кожного  $i$ -го показника для встановлення мінімального комплексу показників. Разом з тим, при необхідності підрахунку комплексного показника повинна виконуватися умова:  $W > 0,6$ . Інакше слід організувати повторну експертизу або виключити думки експертів з сумнівними оцінками.

Для виявлення експертів, рангові оцінки яких більшою мірою відрізняються від сумарних оцінок значущості  $S_i$ , останні заміняють відповідними рангами, причому  $R(S_i) = 1$  привласнюється мінімальному значенню  $S_i$ . Подальші ранги  $R(S_i)$  зростають із збільшенням сумарних оцінок підраховують різниці по модулю [8]:

$$\Delta R_{ij} = |R_{ij} - R(S_i)|, \quad (3)$$

Очевидно, що максимальне значення суми  $\sum_{i=1}^n \Delta R_{ij}$  свідчатиме про найбільше відхилення рангових оцінок  $j$ -го експерта від оцінок решти експертів. Тому його оцінки ( $R_{ij}$ ) виключають і знаходять сумарні кінцеві оцінки  $S_{kj} = S_i - R_{ij}$  для експертів, які залишилися.

Потім розраховують коефіцієнт конкордації за формулою 2. Якщо величина  $W$  говорить про хорошу узгодженість думок експертів ( $W \geq 0,6$ ), то далі переходять до розрахунку коефіцієнтів значущості [8]:

$$\alpha_i = \frac{S_{ki}}{\sum_{i=1}^n S_{ki}}, \quad (4)$$

Далі з усіх  $n$  показників виділяють найзначніші, для яких виконується умова  $\alpha_i > 1/n$ . Оскільки  $\sum \alpha_i = 1$ , то коефіцієнти значущості істотно значимих показників підраховують за формулою  $\alpha_{i0} = \alpha_i^* / \sum \alpha_i^*$ , де  $\alpha_i^*$  – коефіцієнти значущості показників, для яких виконується умова  $\alpha_i^* > 1/n$ .

Останнім кроком оцінюють значення кожного одиничного показника якості з урахуванням його коефіцієнта значущості та загальне середнє значення якості ПЗ [8]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (5)$$

$$P_i = \alpha_i^* \cdot \sum_{j=1}^m R_{ij}, \quad (6)$$

Розглянемо на наступному прикладі обробку результатів оцінювання якості програмного забезпечення Visual Studio Code методом експертних оцінок.

Було відібрано і проаналізовано десять критеріїв, що найбільш всесторонньо характеризують це ПЗ:

1. Зручність використання;
2. Надійність;
3. Функціональність;
4. Ресурсопоживання;
5. Портативність;
6. Захищеність;
7. Зручність супроводу;
8. Додаткові можливості;
9. Узгодженість;
10. Простота конструкції.

В оцінці прийняли участь 8 експертів: Експерт 1, Експерт 2, ..., Експерт 8.

Після проведення опитування експертів формується матриця оцінок ранжированих показників (табл. 1).

Далі було проведено переранжування оцінок експертів та отримано нову матрицю оцінок (табл. 2).

Таблиця 1

Матриця оцінок експертів

Експерти	Рангові оцінки показників якості Rij									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Експерт 1	5	2	3	8	10	6	4	7	9	10
Експерт 2	5	2	3	7	9	6	4	8	9	10
Експерт 3	4	2	3	8	9	6	4	7	8	10
Експерт 4	5	2	4	7	10	6	5	8	8	9
Експерт 5	4	1	3	8	10	5	4	7	8	9
Експерт 6	5	1	3	6	9	5	4	7	8	10
Експерт 7	4	2	3	7	9	6	5	7	8	10
Експерт 8	4	1	3	7	10	6	5	8	9	10

Таблиця 2

## Матриця оцінок експертів після переранжування

Експерти	Рангові оцінки показників якості $R_{ij}$									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Експерт 1	4	1	2	7	9,50	5	3	6	8	9,5
Експерт 2	4	1	2	6	8,5	5	3	7	8,5	10
Експерт 3	3,5	1	2	7,5	9	5	3,5	6	7,5	10
Експерт 4	3,5	1	2	6	10	5	3,5	7,5	7,5	9
Експерт 5	3,5	1	2	7,5	10	5	3,5	6	7,5	9
Експерт 6	4,5	1	2	6	9	4,5	3	7	8	10
Експерт 7	3	1	2	6,5	9	5	4	6,5	8	10
Експерт 8	3	1	2	6	9,5	5	4	7	8	9,5

За формулами 2–4 розраховуються коефіцієнт конкордації та коефіцієнти значущості показників ( $W=0,9724556$ ). Таким чином, можна зробити висновок, що узгодженість оцінок експертів досить велика.

Далі розраховується середнє значення якості ПЗ (P):  $P=4,7757955$ .

Результати зводяться в табл. 3.

Таблиця 3

## Зведена матриця оцінок експертів

15	ЕКСПЕРТИ	Рангові оцінки показників якості $R_{ij}$										$\sum_{i=1}^n R_{ij}$	$F_j$
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
17	Непом'яща	4	1	2	7	9,50	5	3	6	8	9,5	55	0,5
18	Голубова	4	1	2	6	8,5	5	3	7	8,5	10	55	0,5
19	Гончарова	3,5	1	2	7,5	9	5	3,5	6	7,5	10	55	1
20	Мокряк	3,5	1	2	6	10	5	3,5	7,5	7,5	9	55	1
21	Білоус	3,5	1	2	7,5	10	5	3,5	6	7,5	9	55	1
22	Бондаренко	4,5	1	2	6	9	4,5	3	7	8	10	55	0,5
23	Ярмола	3	1	2	6,5	9	5	4	6,5	8	10	55	0,5
24	Іванер	3	1	2	6	9,5	5	4	7	8	9,5	55	0,5
25	$\sum_{i=1}^n R_{ij}$	29	8	16	52,5	74,5	39,5	27,5	53	63	77	440	5,5
26	$\bar{R}_i$	2,9	0,8	1,6	5,25	7,45	3,95	2,75	5,3	6,3	7,7	44	
27	R-Rsr	-41,1	-43,2	-42,4	-38,75	-36,55	-40,1	-41,25	-38,7	-37,7	-36,3		
28	$(R-Rsr)^2$	1689,2	1866,2	1798	1501,6	1335,903	1604	1701,56	1498	1421	1318	15732,91	
29	$\sigma_i$	15,534	16,328	16,03	14,646	13,8146	15,14	15,591	14,63	14,25	13,72		
30	$V_i$	18,7%	4,9%	10,0%	35,8%	53,9%	26,1%	17,6%	36,2%	44,2%	56,1%		
31	$S_i$	29	8	16	52,5	74,5	39,5	27,5	53	63	77	440	
32	$(S_i - Ssr)^2$	225	1296	784	72,25	930,25	20,25	272,25	81	361	1089	5131	
33	ai	0,0659	0,0182	0,036	0,1193	0,169318	0,09	0,0625	0,12	0,143	0,175	1	
34	ai*	0	0	0	0,1193	0,169318	0	0	0,12	0,143	0,175	0,727273	
35	ai*0	0	0	0	0,1641	0,232813	0	0	0,166	0,197	0,241		
36	Pi	0	0	0	6,2642	12,6142	0	0	6,384	9,02	13,48	47,75795	

**Висновки.** У статті розглядаються особливості дослідження методики оцінки якості за допомогою експертних оцінок, а також правил вибору номенклатури показників якості та діючих методичних матеріалів по оцінці заданих показників ПЗ. Отже, запропонований метод дає можливість прогнозування та оцінки майбутніх результатів дій на основі прогнозів фахівців, які повинні мати високий професійний рівень та практичний досвід. Загалом, метод експертного аналізу в сучасних умовах є одним з найбільш дієвих засобів отримання і аналізу якісної інформації.



**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. ISO/IEC 9126. Information Technology. – Software Quality Characteristics and metrics, 1997.
2. ДСТУ 2844 – 1994. Програмні засоби ЕОМ. Забезпечення якості. Терміни та визначення.
3. ДСТУ 2850 – 1994. Програмні засоби ЕОМ. Забезпечення якості. Показники та методи оцінювання якості програмного забезпечення.
4. ДСТУ 3230 – 1995. Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення.
5. Бабенко Л.П. Основи програмної інженерії: Навч. посіб. / Л.П. Бабенко, К.М. Лаврішева. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2001. – 269 с. – (Вища освіта XXI століття).
6. L. Hyatt and L. Rosenberg. A Software Quality Model and Metrics for Identifying Project Risks and Assessing Software Quality. ESA 1996 Product Assurance Symposium and Software Product Assurance Workshop. European Space Agency, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, pp. 209-212.
7. Боцула М. П. Метод експертної оцінки якості програмного забезпечення / Боцула М. П., Моргун І. А. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції аспірантів і студентів «Інженерія програмного забезпечення 2011» – 2011. – № 2.
8. Букреєва О.С. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Стандартизація та сертифікація програмного забезпечення». / Букреєва О.С. // Х.: ХНАДУ, 2019. С.33-36.

**REFERENCES:**

1. Information Technology. Software Quality Characteristics and metrics. ISO/IES 9126. (1997).
2. Computer software. Quality assurance. Terms and definitions. SSTU 2844. (1994).
3. Computer software. Quality assurance. Indicators and methods of software quality assessment. SSTU 2850. (1994).
4. Quality management and quality assurance. Terms and definitions. SSTU 3230. (1995).
5. Babenko L.P., Lavrisheva K.M. (2001). Fundamentals of software engineering. Kyiv: Knowledge. (Higher education of the 21st century).
6. L. Hyatt and L. Rosenberg. A Software Quality Model and Metrics for Identifying Project Risks and Assessing Software Quality. ESA. (1996) Product Assurance Symposium and Software Product Assurance Workshop. European Space Agency, (209-212). ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
7. Bocula M.P., Morgun I.A. (2011). Methodology for calculating criteria for evaluating the quality of electronic materials using fuzzy sets. Materials of the international scientific and practical conference graduate students and students "Software Engineering 2011", 2, (33–37) [in Ukrainian].
8. Bukreeva O.C. (2019). Methodical instructions for practical classes in the discipline "Software standardization and certification". Harkiv. (33-36).

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.11>

## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**Тузова І. А.** – доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Мерктя

Одеського національного морського університету

ORCID ID: 0009-0002-4198-378X

**Тузов О. В.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Мерктя

Одеського національного морського університету

ORCID ID: 0009-0006-5443-4957

**Панченко Т. Д.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики

й інформаційних технологій імені професора Р. В. Мерктя

Одеського національного морського університету

ORCID ID: 0009-0007-4629-9537

**Чумак О. А.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Мерктя

Одеського національного морського університету

ORCID ID: 0009-0002-5802-9765

**Стародуб В. І.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики

й інформаційних технологій імені професора Р. В. Мерктя

Одеського національного морського університету

ORCID ID: 0009-0009-4601-2326

Забезпечення якості програмного засобу включає в себе дії, котрі проводяться на кожній стадії його розробки. Ціль – надати гарантію того, що продукт відповідає функціональним та нефункціональним вимогам.

На перший погляд, «якість програмного забезпечення» може здаватись абстрактним поняттям. Проте для менеджерів проекту, програмістів, спеціалістів з тестування, QA-інженерів та інших учасників процесу розробки продукту критерії якості прозорі та вимірювані.

Отже, якість програмного забезпечення – це комплекс характеристик програмного продукту, який визначає здатність виконувати покладені на нього функції. Аналіз якості програмного забезпечення включає початкову оцінку, яка відповідає процесам виробництва якісного програмного продукту: моніторингу, плануванню, виконанню, зміні або підтримці. Поняття якості програми багатопланове й може бути виражене адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик або атрибутів. Така система характеристик називається моделлю якості.

Базова модель якості включає характеристики і відноситься до будь-якого типу програмних продуктів. Під час розробки вимог замовник формує ті вимоги до якості, які найбільше підходять для програмного продукту, який замовляється.

Визначення і планування якості ПЗ ґрунтується на положеннях стандартів у галузі, складанні планів-графіків робіт, процедури перевірки та ін. План забезпечення якості включає набір дій для перевірки процесів забезпечення якості (верифікація, валідація тощо) і формування документа з управління якістю. Управління якістю застосовується до процесів, продуктів і ресурсів, а також включає вимоги до процесів та їх результатів.

Планування якості включає:

– визначення продукту в термінах заданих характеристик якості;

– планування процесів для отримання необхідної якості;

– вибір методів оцінки планованих характеристик та встановленню відповідності продукту сформульованим вимогам.

*Мета дослідження:* проаналізувати моделі якості програмного забезпечення. *Предмет дослідження:* моделі якості за Макколом, за Боемом, FURPS, Гецці, SATC, ISO 9126. *Методи дослідження:* аналіз, узагальнення та систематизація науково-методичних джерел з питань моделей якості для визначення найбільш оптимальної для використання. *Основні результати й висновки:* після попереднього аналізу різних моделей якості програмного забезпечення було визначено, що деякі з них є логічним розширенням продовженням попередніх моделей з використанням метрик якості, які дозволяють легше вимірювати й оцінювати якість програмних засобів.

**Ключові слова:** фактори, метрики, атрибут якості, технічні вимоги, функціональність, продуктивність, зручність використання, стандарт.

**Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A., Starodub V. I. Analysis of software quality models**

*Software quality assurance includes activities that are carried out at each stage of its development. The goal is to ensure that the product meets functional and non-functional requirements.*

*At first glance, 'software quality' may seem like an abstract concept. However, for project managers, programmers, testers, QA engineers, and other participants in the product development process, quality criteria are transparent and measurable.*

*So, software quality is a set of characteristics of a software product that determines its ability to perform its functions. Software quality analysis includes an initial assessment that corresponds to the processes of producing a quality software product: monitoring, planning, execution, modification, or support. The concept of software quality is multifaceted and can only be adequately expressed by some structured system of characteristics or attributes. Such a system of characteristics is called a quality model.*

*The basic quality model includes characteristics and applies to any type of software product. When developing requirements, the customer formulates those quality requirements that are most suitable for the software product being ordered.*

*Determining and planning software quality is based on the provisions of industry standards, drawing up work schedules, verification procedures, etc. The quality assurance plan includes a set of actions to verify the quality assurance processes (verification, validation, etc.) and create a quality management document. Quality management applies to processes, products and resources, and includes requirements for processes and their results.*

*Quality planning includes:*

- defining the product in terms of specified quality characteristics;*
- planning processes to achieve the required quality;*
- selection of methods for evaluating the planned characteristics and establishing the product's compliance with the formulated requirements.*

*Purpose of the study: to analyse software quality models. Subject of research: quality models by McCall, Boehm, FURPS, Gezzi, SATC, ISO 9126. Research methods: analysis, synthesis and systematisation of scientific and methodological sources on quality models to determine the most optimal one for use. Main results and conclusions: after a preliminary analysis of various software quality models, it was determined that some of them are a logical extension of previous models using quality metrics that make it easier to measure and evaluate the quality of software.*

**Key words:** factors, metrics, quality attribute, technical requirements, functionality, productivity, ease of use, standard.

**Вступ.** Досягнення якості програмного забезпечення залежить від процесу проектування, який повинен бути планованим і включати систематизований набір дій із забезпечення адекватності й довіри до продукту, створеного відповідно до поставлених технічних вимог. При цьому верифікація та валідація програмного забезпечення належать до управління якістю і є важливими процесами забезпечення якості програмного продукту на етапах його життєвого циклу. Програмне забезпечення повинно виконувати свої функції, відповідати заданим критеріям якості, безпеки, надійності. Оцінка продукту, вимог до нього, проектної документації – задача інженерів із забезпечення якості, або QA-інженерів.

**Виклад основного матеріалу.** На перший погляд, «якість програмного забезпечення» може здаватись абстрактним поняттям. Проте для менеджерів проекту, програмістів, спеціалістів з тестування, QA-інженерів та інших учасників процесу розробки продукту критерії якості прозорі та вимірювані.

Отже, якість програмного забезпечення – це сукупність характеристик програмного забезпечення, які відносяться до його здатності задовольняти встановлені та пропоновані потреби [1].

Функція забезпечення якості може виконуватись внутрішнім відділом компанії, а може делегуватись незалежному підрядчику, котрий об'єктивно оцінить саме рішення, налаштує процеси забезпечення якості і тим самим дозволить випустити на ринок продукт високої якості, який відповідає бізнесвимогам та очікуванням користувачів.

Однак для підвищення ступеня задоволення всіх користувачів програмного забезпечення, для досягнення ним стабільного становища на ринку й підвищення потенціалу розвитку важливо враховувати всі характеристики. Таким чином, якість програмного забезпечення може бути описана великою кількістю різноманітних характеристик.

Характеристики програмного забезпечення [2]:

1. **Функціональність (Functionality)** – визначається здатністю програмного забезпечення вирішувати задачі, котрі відповідають зафіксованим та пропонованим потребам користувача при заданих умовах використання програмного забезпечення. Тобто це характеристика відповідає за те, що програмне забезпечення працює справно та точно, функціонально сумісне, відповідає стандартам галузі та захищене від несанкціонованого доступу.

2. **Надійність (Reliability)** – здатність програмного забезпечення виконувати необхідні задачі у визначених умовах протягом заданого проміжку часу чи вказану кількість операцій. Атрибути даної характеристики – це завершеність та цілісність усієї системи, здатність самостійно та коректно відновлюватись після збоїв в роботі, відмовостійкість.

3. **Зручність використання (Usability)** – можливість легкого розуміння, вивчення, використання та привабливості програмного забезпечення для користувачів.

4. **Ефективність (Efficiency)** – здатність програмного забезпечення забезпечувати необхідний рівень продуктивності у відповідності із виділеними ресурсами, часом та іншими визначеними умовами.

5. **Зручність супроводу (Maintainability)** – легкість з якою програмне забезпечення може аналізуватись, тестуватись, змінюватись для виправлення дефектів, для реалізації нових вимог, для полегшення подальшого обслуговування та адаптуватись до змін навколишнього середовища.

6. **Портативність (Portability)** – характеризує програмне забезпечення з точки зору легкості його переносу з одного оточення в інше.

Виходить, поняття якості програми багатопланове й може бути виражене адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик або атрибутів. Така система характеристик називається моделлю якості.

**Модель якості програмного забезпечення за Макколом.** Першою широко відомою моделлю якості програмного забезпечення стала запропонована в 1977 році Макколом й іншими модель [3]. У ній характеристики якості розділені на три групи:

- фактори (factors), що описують програмне забезпечення з позицій користувача та заданих вимог;
  - критерії (criteria), що описуються програмне забезпечення з позицій розробника й задаються як цілі;
  - метрики (metrics), що використовуються для кількісного опису й вимірювання якості.
-

Фактори якості, яких було виділено 11, групуються в три групи відповідно до роду роботи людей з програмним забезпеченням. Отримана структура зображується у вигляді трикутника Маккола. Критерії якості – це числові рівні факторів, поставлені як цілі при розробці. Об'єктивно оцінити або виміряти фактори якості досить важко. Тому Маккол використав метрики якості, які дозволяють легше вимірювати й оцінювати. Оцінки за шкалою набувають значень від 0 до 10.

Метрики якості:

- зручність перевірки на відповідність стандартам (audiability);
- точність управління й обчислень (accuracy);
- ступінь стандартності інтерфейсів (communication commonality);
- функціональна повнота (completeness);
- однорідність використовуваних правил проектування й документації (consistency);
- ступінь стандарності форматів даних (data commonality);
- стійкість до помилок (error tolerance);
- ефективність роботи (execution efficiency);
- розширюваність (expandability);
- широта сфери потенційного використання (generality);
- незалежність від апаратної платформи (hardware independence);
- повнота протоколювання помилок й інших подій (instrumentation);
- модульність (modularity);
- зручність роботи (operability);
- захищеність (security);
- самодокументованість (selfdocumentation);
- простота роботи (simplicity);
- незалежність від програмної платформи (software system independence);
- можливість порівняння проекту з вимогами (traceability);
- зручність навчання (training).

Кожна метрика впливає на оцінку декількох факторів якості. Числове вираження фактора являє собою лінійну комбінацію значень метрик, що впливають на нього (рис.1). Коефіцієнти вираження визначаються по різному відповідно до різних організацій, команд розробки, видів програмного забезпечення.

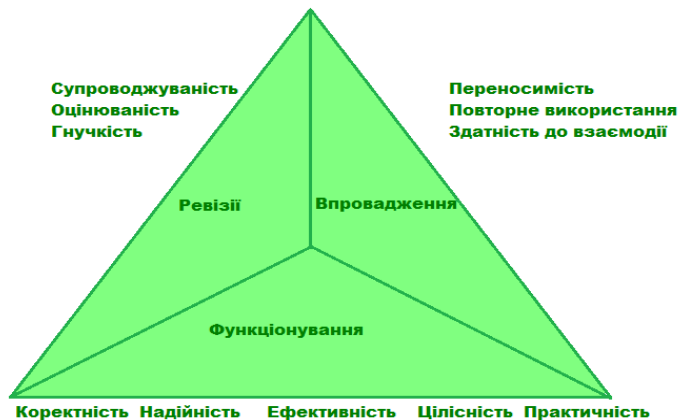


Рис. 1. Трикутник Маккола

**Модель якості програмного забезпечення за Боемом.** В 1978 році Боем запропонував свою модель, власне кажучи, вона являла собою розширену модель Маккола. Атрибути якості класифікуються за способами використання програмного забезпечення. Визначено 19 проміжних атрибутів, що включають всі 11 факторів якості за Макколом [3]. Проміжні атрибути розділяються на примітивні, які у свою чергу можуть бути оцінені на основі метрик.

На додаток до факторів Маккола атрибути якості за Боемом включають таке:

- ясність (clarity);
- зручність внесення змін (modifiability);
- документованість (documentation);
- здатність до відновлення функцій (resilience);
- зрозумілість (understandability);
- адекватність (validity);
- функціональність (functionality);
- універсальність (generality);
- економічну ефективність (economy).

**Модель якості програмного забезпечення FURPS.** У 1987 році компанія Hewlett Packard запропонувала нову модель якості, так би мовити індустріальну інтерпретацію моделей Маккола та Боема, FURPS.

Модель містить 5 атрибутів, відповідно до назви, а саме:

- функціональність (functionality);
- зручність використання (usability);
- надійність (reliability);
- продуктивність (performance);
- супроводжуваність (supportability).

Сучасна модель FURPS+ містить додаткові атрибути: вимоги до проекту (Design requirements), вимоги до реалізації (Implementation requirements), вимоги до інтерфейсу (Interface requirements), вимоги до фізичних компонент (Physical requirements) [3].

Модель якості програмного забезпечення FURPS, яка була запропонована Грейді та Hewlett Packard, як вже зазначалось, побудована на основі моделей Маккола та Боема, але на відміну від них складається з двох шарів: перший з яких визначає характеристики, а другий пов'язаний із атрибутами. Основною концепцією, яка лежить в основі моделі, є декомпозиція характеристик програмного забезпечення на дві категорії вимог, а саме, функціональні (F) та не функціональні (URPS) вимоги. Ці виділені категорії можуть бути використані як в якості вимог до програмного продукту, так і в якості оцінки якості програмного продукту. На даний момент модель FURPS+ широко застосовується у розробці програмного забезпечення та при ідентифікації вимог до розробленої системи доцільне використання цієї моделі у якості універсального контрольного переліку характеристик програмного забезпечення.

До недоліків даної моделі якості програмного забезпечення можна віднести наступне:

- вказану модель варто було б доповнити атрибутами якості, які мають безпосереднє відношення до веб-додатків: доступність, знаходжуваність та правову відповідність;
- вказана модель не приділяє достатньої уваги переносимості програмного забезпечення.

**Модель якості програмного забезпечення Гецці.** Карло Гецці та його співавтори розрізняють якість продукту та процесу [3]. Згідно моделі Гецці до якості

програмного забезпечення відносяться наступні характеристики програмного забезпечення:

- цілісність;
- надійність та стійкість;
- продуктивність;
- практичність;
- верифікованість;
- супроводжуваність;
- можливість багаторазового використання;
- мобільність;
- зрозумілість;
- можливість взаємодії;
- ефективність;
- своєчасність реагування;
- видимість процесу розробки.

**Модель якості програмного забезпечення SATC.** В Центрі забезпечення якості програмного забезпечення NASA (Software Assurance Technology Center, SATC) була розроблена програма метрик, яка забезпечувала оцінку ризиків проекту, якості продукції та ефективність процесів [3]. Програма SATC рекомендує окремо відслідковувати якість вимог, якість програмного забезпечення та інших продуктів (документації), якість тестування та якість виконання процесів. Модель якості SATC визначає набір цілей, пов'язаних із програмним продуктом та атрибутами процесів у відповідності до структури моделі якості програмного забезпечення ISO 9126-1.

**Модель якості програмного забезпечення ISO 9126.** У 1991 році стандартною була прийнята модель якості програмного забезпечення ISO 9126. Ця модель не є прямим розширенням раніше запропонованих. У ній оцінка якості програмного забезпечення заснована на таких характеристиках [1]:

- мета (goals) – те, що ми хочемо бачити в програмному забезпеченні;
- атрибути (attributes) – властивості програмного забезпечення, що показують наближення до мети;
- метрики (metrics) – кількісні характеристики ступеня наявності атрибутів.

Виділено шість цілей:

- функціональність (functionality);
- надійність (reability);
- практичність або зручність використання (usability);
- ефективність (efficiency);
- супроводжуваність (maintainability);
- мобільність (portability).

В 2001 році цей стандарт був переглянутий і розширений. У нього було додано шість додаткових атрибутів якості: привабливість як атрибут практичності й ступінь відповідності стандартам. Повний список атрибутів якості ПЗ за стандартом ISO 9126 (рис.2):

- функціональність (functionality);
- надійність (reability);
- практичність або зручність використання (usability);
- ефективність (efficiency);
- супроводжуваність (maintainability);
- мобільність (portability).



Рис. 2. Характеристики і атрибути якості програмного забезпечення згідно з ISO 9126

**Висновки.** Перераховані характеристики і атрибути якості програмного забезпечення дозволяють систематично описувати вимоги до нього, визначаючи, які властивості програмного забезпечення по даній характеристиці можуть бачити зацікавлені сторони.

Наведені атрибути якості визначені в стандартах, але це не означає, що вони цілком вичерпують поняття якості програмного забезпечення. Так, в стандарті ISO 9126 відсутні характеристики, пов'язані з мобільністю ПЗ, тобто здатність програми працювати при фізичних переміщеннях машини на якій вона працює.

Замість надійності багато дослідників воліють розглядати більш загальне поняття добротності (dependability), що описує здатність програмного забезпечення підтримувати визначені показники якості за основними характеристиками (функціональності, продуктивності, зручності використання) із заданими ймовірностями виходу за їх рамки та визначенням максимальним збитком від можливих порушень. Крім того, активно досліджуються поняття зручності використання, безпеки і захищеності програмного забезпечення – вони здаються більшості фахівців набагато більш складними, ніж це описується даним стандартом.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.
2. Табунщик Г.В. Інженерія якості програмного забезпечення: навчальний посібник / Г.В. Табунщик, Р.К. Кудерметов, Т.І. Брагіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. 180с.
3. Процеси та системи підтримки якості програмних систем [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/16456/1/> (дата звернення: 03.10.2024).
4. Проектування інформаційних систем [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:delc9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/165292/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:delc9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/165292/index.html) (дата звернення: 10.11.2024).



5. Специфікація вимог до ПЗ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5375896/> (дата звернення: 03.10.2024).

6. Принципи встановлення вимог розробки системи [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/28593/mod\\_resource/content/1](http://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/28593/mod_resource/content/1) (дата звернення: 03.11.2024).

#### REFERENCES:

1. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.

2. Tabunshik G.V., Kudermetov R.,K., Bragina T.I. (2013) Software quality engineering: a study guide. Zaporizhzhia: ZNTU. (75-90)

3. Processes and systems for supporting the quality of software systems. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/16456/1/>

4. Information systems design. Retrieved from [https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:de1c9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/165292/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:de1c9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/165292/index.html)

5. Specification of software requirements. Retrieved from <https://studfile.net/preview/5375896/>

6. Principles of establishing system development requirements. Retrieved from [http://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/28593/mod\\_resource/content/1](http://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/28593/mod_resource/content/1)

UDC 004.67

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.12>

## APPLICATION OF HYBRID FEDERATED LEARNING MODELS INTEGRATING BLOCKCHAIN AND MACHINE LEARNING

**Tsudzenko Yu. Ye.** – Postgraduate Student at the Department of System Design  
of the Ivan Franko National University of Lviv  
ORCID ID: 0009-0005-9316-7292

**Mysiuk I. V.** – Postgraduate Student at the Department of System Design  
of the Ivan Franko National University of Lviv  
ORCID ID: 0000-0002-3641-4518  
Scopus-Author ID: 58178909800

**Mysiuk R. V.** – PhD, Lecturer at the Department of System Design  
of the Ivan Franko National University of Lviv  
ORCID ID: 0000-0002-7843-7646  
Scopus-Author ID: 57939883600  
Web of Science ID: GSE-0471-2022

The article explores a promising combination of blockchain technologies and Federated Learning-based machine learning to create hybrid models capable of transforming data mining in social networks through increased security, autonomy, and efficiency of data management. Blockchain provides a decentralized and secure environment for storing and transmitting information, which is especially important in the face of increasing requirements for the privacy and reliability of data in social networks. In turn, machine learning, which requires large amounts of reliable data to accurately predict and analyze, can take advantage of secure blockchain-based platforms to generate highly efficient models. The key aspects of the implementation of hybrid models are described, such as ensuring the confidentiality of user data, the scalability of the blockchain, and the complexity of integrating both technologies. Successful implementation of such systems can improve the efficiency and security of social media data analysis processes, creating new opportunities for innovation, improving content personalization, and providing better protection against manipulation. Thus, the study emphasizes that these approaches can significantly improve traditional methods of data analysis, making social networks safer and more adapted to the needs of modern users. The developed system allows you to evaluate the interaction between the user and the global machine learning model and the blockchain model. In addition, the collected metrics, namely: load reduction factor, estimation of network bandwidth utilization, blockchain processing time coefficient, allow you to evaluate the application of a hybrid model using blockchain technology using machine learning. A comparison of the load of the centralized and decentralized systems in accordance with the resource capacity of a personal computer is analyzed.

**Key words:** blockchain, data analysis, decentralization, social networks.

**Цудзенко Ю. Є., Мисюк І. В., Мисюк Р. В. Застосування гібридних моделей федеративного навчання з інтеграцією блокчейну та методів машинного навчання**

У статті досліджується перспективне поєднання технологій блокчейну та машинного навчання на основі Federated Learning для створення гібридних моделей, здатних трансформувати інтелектуальний аналіз даних у соціальних мережах завдяки підвищеній безпеці, автономності та ефективності управління даними. Блокчейн забезпечує децентралізоване та захищене середовище для зберігання та передачі інформації, що особливо важливо в умовах зростаючих вимог до конфіденційності й надійності даних у соціальних мережах. У свою чергу, машинне навчання, яке потребує великих обсягів достовірних даних для точного прогнозування та аналізу, може скористатися безпечними платформами на основі блокчейну для створення високоєфективних моделей. Описано ключові аспекти впровадження гібридних моделей, таких як забезпечення конфіденційності даних користувачів, масштабованість блокчейну та складність інтеграції обох технологій. Успішна

*реалізація таких систем може підвищити ефективність і безпеку процесів аналізу даних у соціальних мережах, створюючи нові можливості для інновацій, поліпшення персоналізації контенту та забезпечення кращого захисту від маніпуляцій. Таким чином, проведене дослідження підкреслює, що ці підходи можуть значно вдосконалити традиційні методи аналізу даних, зробивши соціальні мережі безпечнішими й адаптованими до потреб сучасних користувачів. Розроблена система дозволяє оцінити взаємодію між користувачем і глобальною моделлю машинного навчання та моделлю блокчейну. Крім того, зібрані метрики, а саме: коефіцієнт зменшення навантаження, оцінка використання пропускну здатності мережі, час обробки блокчейну коефіцієнт, дозволяють оцінити застосування гібридної моделі із застосування технології блокчейну використовуючи машинне навчання. Проаналізовано порівняння навантаженості централізованої та децентралізованої системи відповідно ресурсоспроможності персонального комп'ютера.*

**Ключові слова:** блокчейн, аналіз даних, децентралізація, соціальні мережі.

**Introduction.** Modern social media platforms have become an integral part of the global information environment, where users actively interact, exchange information, and shape public opinion. However, the growing influence of social media on society is accompanied by a number of challenges, including issues related to security, privacy, and content verification. The spread of fake news, fake accounts, and automated bots poses serious threats to users and trust in these platforms. Moreover, privacy violations, particularly through the collection and use of personal data without adequate control, remain one of the key problems faced by modern internet platforms.

In this context, traditional approaches to ensuring security and content verification based on centralized systems prove to be insufficiently effective. Blockchain technology, with its properties of decentralization, transparency, and immutability of data, offers new opportunities for creating more secure and reliable platforms. The use of blockchain in combination with machine learning methods, particularly algorithms for detecting anomalous activity and automatic content analysis, can significantly enhance the effectiveness of addressing the issues arising in social media.

The use of blockchain technology in combination with a Federated Learning model allows for the avoidance of third-party interference in the process of data processing and analysis. Federated Learning enables training machine learning models without the need to transfer raw data to centralized servers, keeping the data stored locally on users' devices. This ensures privacy, as personal data does not leave the boundaries of local devices.

In the context of systems combining blockchain with Federated Learning for data analysis in social media, blockchain serves as a decentralized platform to ensure the security, transparency, and immutability of machine learning model parameters. In environments where user privacy and data protection are paramount, blockchain ensures that all changes and updates to the model are authentic and verifiable, increasing trust in the learning outcomes.

One of the key roles of blockchain is ensuring data immutability. All contributions from individual devices are recorded as blocks in the chain, preserving the history of model changes. This means that all model updates are viewable and cannot be altered without a trace. This approach allows for tracking the sources and chronology of model parameters, creating a consistent and secure chain of updates.

The transparency and trust provided by blockchain are significant advantages for social media platforms aiming to handle user behavioral data correctly. Thanks to blockchain, all participants in the system can verify contributions to the model, which enhances trust in the learning and data processing results. In social media, this ensures transparency in data processing and protects against manipulation.

Furthermore, the decentralized structure of blockchain prevents unauthorized changes during the model training process. Any modifications or updates to the parameters require approval from the majority of nodes in the network, ensuring the system's resilience to external interference and maintaining the integrity of the model.

Blockchain also contributes to privacy protection by allowing only the updated model parameters to be stored, without the need to transmit raw user data. This reduces the risks associated with personal data breaches and complies with modern privacy requirements.

**The aim of the study.** This article presents the results of a study on the use of blockchain technology in combination with the Federated Learning model. The described combination allows for avoiding third-party interference in the process of data processing and analysis. Federated Learning enables training machine learning models without the need to transfer raw data to centralized servers, keeping the data stored locally on users' devices. This ensures privacy, as personal data does not leave the boundaries of local devices.

**Related work.** Hybrid models of federated learning based on blockchain and machine learning differ from the research presented so far in that they aim to integrate machine learning algorithms directly into the federated learning process. While traditional studies primarily focus on using blockchain for ensuring transparency, security, and decentralization, hybrid models offer a deeper interaction between these technologies.

In particular, previous research emphasizes the technical integration of blockchain with federated learning, focusing on addressing issues of scalability, privacy, and data exchange efficiency. Hybrid models, on the other hand, leverage machine learning capabilities to optimize the performance of the entire system, such as dynamically distributing tasks between nodes, predicting workloads, or automatically detecting anomalies.

Furthermore, hybrid models place a strong emphasis on practical applications, offering solutions for complex real-world scenarios such as medical diagnostics, smart cities, or financial technologies. They enable high performance through the flexible integration of modern machine learning algorithms with the advantages of blockchain, significantly expanding their capabilities compared to traditional approaches.

Blockchain technologies have become an important tool for ensuring transparency, security, and decentralization across many fields, from finance to data management. Many studies [1, 2] highlight the potential of blockchain to ensure the immutability of records, making it ideal for storing and verifying data, particularly in distributed systems. However, for blockchain to be used in real-world applications involving large volumes of data, scalability and transaction processing speed issues must be addressed [3]. One approach to solving these problems is the integration of blockchain with other technologies, such as machine learning.

Federated learning, introduced by Google in 2016 [4], is a promising technique for training machine learning models on distributed data without moving the data to a central repository. This allows for maintaining data privacy and minimizing the risk of leaks. Federated learning is used to create models that are trained on local devices (such as smartphones, sensors, etc.) and then aggregated to improve the global model. However, as studies [5] show, such a system faces challenges, including the efficient aggregation of models and ensuring accuracy based on limited local data.

Recent research focuses on combining blockchain technologies and Federated Learning to improve security, privacy, and scalability. Blockchain can be used to verify and store model updates, ensuring transparency and traceability of changes during the training process. In studies [6, 7], the use of blockchain for storing model parameters, such as

weights, has been proposed, allowing for the distribution and updating of models without centralized control, while also enhancing resilience to attacks. Additionally, the combination of blockchain with Federated Learning minimizes the risks of data and model manipulation, as each transaction involving model updates is immutable and transparent.

Intelligent data analysis, which includes methods of machine learning, deep learning, and statistical analysis, is also actively applied in the context of blockchain systems. Particularly promising are approaches that combine data distribution with intelligent analysis for automatic anomaly detection and trend forecasting in large datasets [8]. This analysis can be performed both on local devices and in a distributed network, which helps reduce latency and improve prediction accuracy.

A comprehensive study on the integration of blockchain technologies and federated learning [9] systematically analyzes existing approaches and examines the main technical challenges, including ensuring privacy, computational efficiency, and scalability. This research helps to better understand the key use cases of these technologies across different industries.

The paper [10] provides a detailed analysis of solutions combining blockchain technologies and federated learning, focusing on architectures, algorithms, and security methods, as well as energy consumption and data storage efficiency.

The integration of these technologies in the context of edge computing is described in [11], highlighting the advantages for distributed systems and proposing solutions to address issues related to computational resources and data transmission delays.

Similarly, in articles [12], the use of blockchain technologies in federated learning for Internet of Things (IoT) security is discussed, particularly focusing on ensuring privacy and protection against attacks, as well as secure data exchange between IoT network nodes.

The research [13] also reviews the literature on blockchain integration in federated learning, emphasizing security and challenges related to attack resilience.

The article [14], which focuses on the integration of blockchain and federated learning in IoT networks for transportation systems, highlights data protection, reduction of latency, and improvement in system efficiency. Traditional aspects of blockchain usage are described in [15].

**Presentation of the main research material.** Regarding the methodological approach for integrating blockchain technology with Federated Learning and intelligent data analysis, the main stages, system components, and algorithms used to ensure security, privacy, and efficiency in data processing are explained.

The system consists of three main components: local devices, the global model, and the blockchain network. Each component plays a crucial role in ensuring decentralized data processing, model training, and the storage of updates. The system model is shown in Fig. 1.

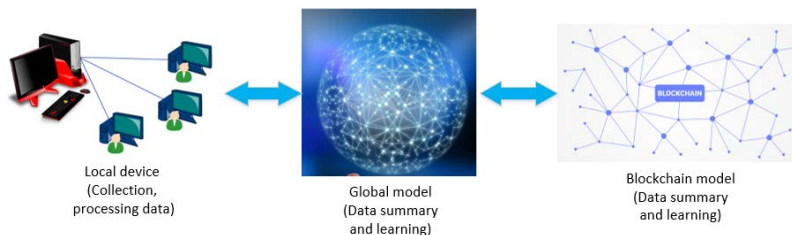


Fig. 1. Hybrid system architecture with blockchain technology and Federated learning

Local devices refer to the fact that each user has a mobile device or sensor that collects data locally, allowing for processing without the need to transmit data to centralized servers. These data may include user behavior metrics, environmental parameters, biometric data, or other types of input data, depending directly on the application context.

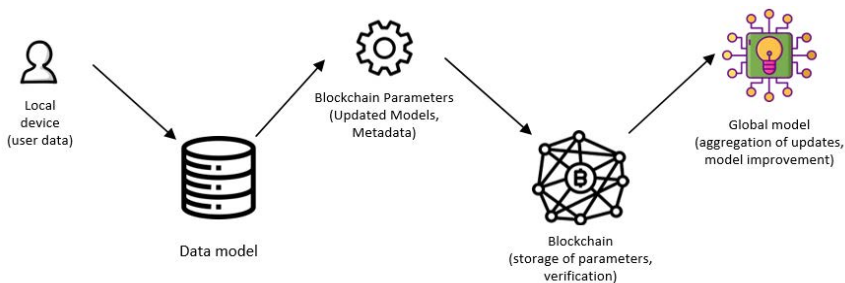
The machine learning model (local) operates on each device, processing the collected data without the need to send it to a centralized database. Models can be updated locally, where only the parameters (model weights, gradients) are transmitted, reducing the network load and ensuring a high level of privacy.

The global model is the result of combining the parameters of models sent from the local devices. This allows for an improved model based on collective learning, which aggregates knowledge from various sources. The global model is updated and sends new parameters back to the local devices for further training.

To ensure transparency, verification, and immutability of model parameters, blockchain is used. The model parameters sent from local devices are stored on the blockchain, where each record is immutable and open for verification, preventing manipulation and ensuring no third-party interference.

The system operates using a multi-step approach, ensuring secure collection, processing, and exchange of data between local devices and the global model with the use of blockchain. A local device, such as a smartphone or sensor, collects data about user behavior or environmental information and processes it directly on the device. At this stage, a local machine learning model analyzes the data and improves without the need to transmit raw data to a centralized database.

To improve the global model, the local device only sends updated parameters, such as model weights or gradients. These parameters are sent to the blockchain, where they are verified and stored in a secure environment. These data are then used to aggregate updates from various devices, allowing the global model to be enhanced. The updated parameters of the global model are returned to the local devices, ensuring the system adapts to new conditions and improves efficiency. This approach ensures confidentiality, transparency, and data security while maintaining high system performance.



*Fig. 2. Data Processing and Model Update Flow in Federated Learning with Blockchain Integration*

In the first stage, as shown in Fig. 2, the local device collects user data and sends it for processing, while the data is processed locally, without the need for centralized access. This helps maintain confidentiality, as the data never leaves the device. The local model on the device processes this data and generates updates, which may include changes in model parameters, such as weights or gradients, but not the actual user data.

These updated parameters are then sent to the blockchain, where they are stored and verified.

In this case, blockchain ensures that the transmitted parameters are correct and belong to specific devices, which enhances transparency and security in the system. The updated parameters are then incorporated into the global machine learning model, which integrates them to improve accuracy and adaptability. After this, local devices receive the newly updated parameters from the global model, allowing them to continue training or use the model for further operations.

Thus, this approach ensures data confidentiality, as only model parameters are transmitted at all stages, not the users' actual data. This helps maintain security and confidentiality while simultaneously improving the model's effectiveness through aggregation from various local devices.

Hybrid models that combine these two technologies provide a powerful platform for addressing issues arising from large volumes of data and the complexity of verifying users and content in real-time. Blockchain can be used for data recording and verification, while machine learning helps detect anomalies. This approach ensures a higher level of protection for users' personal information, increases trust in content, and reduces risks related to fake accounts, bots, and fake news.

However, the implementation of hybrid models based on blockchain and machine learning requires a deep understanding of both technological and ethical aspects. Specifically, issues related to the effective integration of different systems need to be addressed, ensuring data confidentiality, protection against abuse, and maintaining transparency in decision-making processes. Therefore, the relevance of researching the effectiveness of such hybrid approaches is extremely high, as they have the potential to transform the paradigm of security and trust in social media ecosystems.

**Enhancing privacy and data security:** The use of Federated Learning (FL) combined with blockchain significantly improves privacy levels and protects user data from leakage and tampering. This can be measured by the number of potential attack vectors detected.

Blockchain combined with FL allows the system to scale without compromising its security. This can be evaluated by measuring latency time as the number of participants increases. The system is resilient to manipulation and attacks by malicious actors due to the protective mechanisms embedded in the blockchain and machine learning algorithms. This can be tested by evaluating the system under various types of attacks.

Thanks to decentralization, the system avoids overloading central servers, as computations are performed at the end-user level. This can be measured by monitoring central server usage. All tests were conducted using a dataset taken from the YouTube social network. The hardware used for the experiment had the following parameters: Intel Core i5 processor, 32 GB RAM, Nvidia 1050ti graphics card. In the figure, a comparison is shown between the performance of the centralized system and the hybrid system. The results indicate the system's CPU load, memory usage, and network usage. With the hybrid system, resource usage is significantly reduced. The formula for calculating the reduction coefficient of the load is:

$$\text{Load reduction coefficient} = \frac{\text{load}_{old} - \text{Load}_{new}}{\text{Load}_{new}}$$

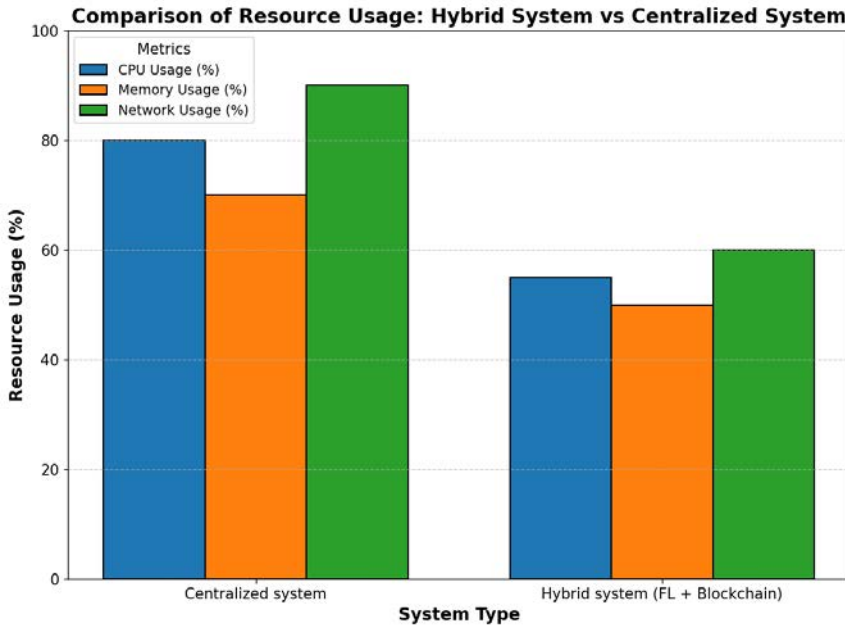


Fig. 3. Comparison of Resource Usage in Hybrid System vs. Centralized System  
 Load Reduction Coefficient =  $(80 - 55) / 80 = 0.3125$

To calculate network bandwidth usage in systems combining Federated Learning and blockchain, the following formula can be used:

$$\text{Network Bandwidth Usage} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Data Size}_i}{\text{Time Period}}$$

$\sum_{i=1}^N \text{Data Size}_i$  – amount of data (in bytes) transmitted between nodes over a specific period of time. In Federated Learning systems, this refers to the volume of parameters or updates transmitted from each device  $i$  to a central node or blockchain. Time Period – the time duration (in seconds or minutes) over which the traffic volume is measured. It is important to consider that when multiple nodes simultaneously transmit data, the traffic volumes from all nodes need to be summed, as each node may contribute its part to the total amount of data transmitted. This provides an accurate estimate of the overall traffic, which helps in network optimization and resource management. Moreover, if data transmission occurs in multiple stages, such as first from local devices to the blockchain, followed by processing and returning results, each stage should be considered separately. Each stage may have its own traffic and resource requirements, so they should be evaluated individually to ensure optimal performance and minimize delays.

Blockchain Processing Time:

$$\text{Blockchain processing time} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\text{block}_i}}{N}$$

where  $T_{\text{block}_i}$  – The processing time (in seconds) for each block  $i$ , which includes both the time for block creation and block confirmation within the network, and  $N$  – the total number of blocks created and confirmed during a certain training period.



**Conclusions.** The integration of blockchain technologies, Federated Learning (FL), and intelligent data analysis opens up significant prospects, but the implementation of such hybrid models comes with certain challenges that must be addressed. One of the primary limitations is the high complexity and resource intensity involved in developing such systems, especially when dealing with large volumes of data and high processing speed requirements.

For the effective use of blockchain data combined with machine learning algorithms, particularly Federated Learning, it is necessary to optimize these algorithms, which requires substantial computational resources. Federated Learning allows model training without centralized data storage, reducing the risk of confidential information leaks. However, it still increases the demands on computational efficiency and coordination between different nodes. Blockchain, in turn, can become a bottleneck when processing large data volumes, as storing each record in blocks may lead to delays and scalability issues.

Another important aspect is ensuring data confidentiality and regulation, especially in the context of processing personal data. Hybrid models that combine blockchain, Federated Learning, and intelligent data analysis can significantly enhance security and privacy in decentralized systems, as they allow users to maintain control over their data and offer resilience against attacks. Intelligent data analysis, particularly through machine learning and deep learning methods, can be used for automatic anomaly detection, trend forecasting, and process optimization based on distributed data, which significantly increases the effectiveness and accuracy of decisions.

However, the implementation of such systems in real-world conditions requires further research, particularly to assess latency, performance, resilience to external threats, and resource utilization efficiency. Experimental research results confirm that combining blockchain, Federated Learning, and intelligent data analysis can significantly improve process efficiency, reduce risks, and ensure a high level of confidentiality and privacy for users, unlocking new opportunities for innovation in various fields.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Blockchain for secure and efficient data sharing in vehicular edge computing and networks / Kang, J. et al. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020, 7(3), 2347-2363. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2968332>
2. Federated learning: Strategies for improving communication efficiency / Konecny, J. et al. *arXiv preprint arXiv:1610.05492*. 2016 <https://arxiv.org/abs/1610.05492>
3. Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data / McMahan et al. In *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, 2016, pp. 1273-1282.
4. *Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction*. Princeton University Press. / Narayanan, A. et al. 2016
5. Tapscott, D., & Tapscott, A. *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world* (Updated ed.). Portfolio. 2017
6. Xu, X., Weber, I., Staples, M. Blockchain in Software Architecture. In: *Architecture for Blockchain Applications*. Springer, Cham. 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03035-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03035-3_5).
7. Smart contract-based access control for the internet of things. / Zhang, Y. et al. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021 6(2), pp. 1594-1605. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3055118>
8. Blockchain and federated learning for collaborative intrusion detection in vehicular networks. / Zhou, Z. et al *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, 22(5), pp. 2925-2937. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2995608>

9. Blockchain-enabled federated learning: A survey. / Qu, Y. et al. *ACM Computing Surveys*, 2022, 55(4), pp. 1-35. <https://doi.org/10.1145/3524104>
10. Wang, Z., & Hu, Q. Blockchain-based federated learning: A comprehensive survey. *arXiv preprint arXiv:2110.02182*. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.02182>
11. Federated learning meets blockchain in edge computing: Opportunities and challenges / Nguyen, D. C. et al. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021, 8(16), 12806-12825. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3072611>
12. Blockchain-based federated learning for securing internet of things: A comprehensive survey / Issa, W. et al, *ACM Computing Surveys*, 2023, 55(9), 1-43. <https://doi.org/10.1145/3560816>
13. Securing federated learning with blockchain: a systematic literature review. / Qammar, A. et al. *Artificial Intelligence Review*, 2023, 56(5), 3951-3985.
14. Integration of blockchain technology and federated learning in vehicular (iot) networks: A comprehensive survey. / Javed, A. R. et al. *Sensors*, 2022, 22(12), 4394. <https://doi.org/10.3390/s22124394>
15. Tsudzenko, Y. (2023). Підходи в моделюванні смарт-контрактів на основі Ethereum. *Electronics and Information Technologies*, 22, 69–78. <https://doi.org/10.30970/eli.22.7>

#### REFERENCES:

1. Kang, J., Yu, R., Huang, X., Maharjan, S., Zhang, Y., & Hossain, E. (2020). Blockchain for secure and efficient data sharing in vehicular edge computing and networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(3), 2347-2363. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2968332>
2. Konecny, J., McMahan, H. B., Yu, F. X., Richtárik, P., Suresh, A. T., & Bacon, D. (2016). Federated learning: Strategies for improving communication efficiency. *arXiv preprint arXiv:1610.05492*. <https://arxiv.org/abs/1610.05492>
3. McMahan, H. B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & y Arcas, B. A. (2016). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In *Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)* (pp. 1273-1282).
4. Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). *Bitcoin and cryptocurrency technologies: A comprehensive introduction*. Princeton University Press.
5. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2017). *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world* (Updated ed.). Portfolio.
6. Xu, X., Weber, I., & Staples, M. (2019). *Architecture for blockchain applications*. Springer.
7. Zhang, Y., Kasahara, S., Shen, Y., Jiang, X., & Wan, J. (2021). Smart contract-based access control for the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1594-1605. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3055118>
8. Zhou, Z., Li, W., Zhang, J., & Tang, X. (2020). Blockchain and federated learning for collaborative intrusion detection in vehicular networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(5), 2925-2937. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2995608>
9. Qu, Y., Uddin, M. P., Gan, C., Xiang, Y., Gao, L., & Yearwood, J. (2022). Blockchain-enabled federated learning: A survey. *ACM Computing Surveys*, 55(4), 1-35. <https://doi.org/10.1145/3524104>
10. Wang, Z., & Hu, Q. (2021). Blockchain-based federated learning: A comprehensive survey. *arXiv preprint arXiv:2110.02182*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.02182>
11. Nguyen, D. C., Ding, M., Pham, Q. V., Pathirana, P. N., Le, L. B., Seneviratne, A., ... & Poor, H. V. (2021). Federated learning meets blockchain in edge computing: Opportunities and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(16), 12806-12825. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3072611>

12. Issa, W., Moustafa, N., Turnbull, B., Sohrabi, N., & Tari, Z. (2023). Blockchain-based federated learning for securing internet of things: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys*, 55(9), 1-43. <https://doi.org/10.1145/3560816>

13. Qammar, A., Karim, A., Ning, H., & Ding, J. (2023). Securing federated learning with blockchain: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, 56(5), 3951-3985.

14. Javed, A. R., Hassan, M. A., Shahzad, F., Ahmed, W., Singh, S., Baker, T., & Gadekallu, T. R. (2022). Integration of blockchain technology and federated learning in vehicular (iot) networks: A comprehensive survey. *Sensors*, 22(12), 4394. <https://doi.org/10.3390/s22124394>

15. Tsudzenko, Y. (2023). Підходи в моделюванні смарт-контрактів на основі Ethereum. *Electronics and Information Technologies*, 22, 69–78. <https://doi.org/10.30970/eli.22.7>.

---

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

---

## SYSTEM ANALYSIS

УДК 004.6, 004.8, 004.942, 004.021: 519.6  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.13>

### ПРОЄКТУВАННЯ ТА НАВЧАННЯ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ Й ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРОЄКТІВ

---

Михайлов Н. О. – аспірант

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

ORCID ID: 0009-0002-9374-3403

У сучасному світі, де управління проєктами стає дедалі складнішим і багатограннішим, традиційні підходи проєктного менеджменту втрачають свою актуальність. Ефективне управління ресурсами, прогнозування строків виконання завдань і оцінка потенційних ризиків є запорукою успіху будь-якого проєкту. У цих умовах технології штучного інтелекту, набувають усе більшої популярності, завдяки їхній здатності аналізувати великі обсяги даних, ідентифікувати приховані закономірності та робити точні прогнози.

Ця стаття присвячена розробці та навчанню моделі штучного інтелекту, яка здатна автоматизувати процес планування проєктів і оцінки ризиків. У межах роботи детально розглянуто весь цикл створення такої моделі: від налаштування середовища до побудови нейронної мережі та її навчання. Особливу увагу було приділено підготовці даних для моделі, вибору оптимальної архітектури нейронної мережі та експериментальній оцінці її ефективності на реальних даних.

Модель, описана в статті, орієнтована на вирішення двох основних задач. Перша – це прогнозування строків виконання завдань, що дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів та уникати затримок. Друга задача – це автоматизована оцінка ризиків, яка допомагає заздалегідь ідентифікувати потенційні проблеми та запропонувати заходи для їх мінімізації. Завдяки використанню алгоритмів глибокого навчання модель може обробляти дані з багатьох джерел, таких як системи управління проєктами, і адаптуватися до нових умов. Ключовими аспектами створення моделі є її гнучкість і адаптивність. Навіть за умов обмеженого доступу до даних, модель демонструє здатність до навчання і прогнозування. Водночас, із розширенням обсягів даних її продуктивність і точність лише покращуються. Модель здатна автоматично оновлювати прогнози та коригувати планування у реальному часі, що значно підвищує ефективність управління великими та складними проєктами.

**Ключові слова:** планування проєктів, оцінка ризиків, штучний інтелект, машинне навчання, нейронні мережі, прогнозування тривалості, оптимізація ресурсів, аналіз даних, алгоритми прогнозування, автоматизація управління проєктами, управління ризиками, інтелектуальні системи, адаптивне планування, величезні моделі, рекурентні нейронні мережі, нормалізація даних, підготовка даних для моделі.

**Mykhailov N. O. Designing and training an artificial intelligence model for project planning and risk assessment**

*In the modern world, where project management is becoming increasingly complex and multifaceted, traditional approaches to project management are losing their relevance. Effective*

---

*resource management, accurate task duration forecasting, and risk assessment are crucial for the success of any project. In this context, artificial intelligence technologies are gaining increasing popularity due to their ability to analyze large volumes of data, identify hidden patterns, and make accurate predictions.*

*This article focuses on the development and training of an artificial intelligence model capable of automating project planning and risk assessment processes. The work examines the entire cycle of creating such a model: from setting up the environment to building and training a neural network. Special attention is paid to data preparation for the model, selecting the optimal neural network architecture, and experimentally evaluating its effectiveness on real-world data. The model described in the article addresses two main tasks. The first is predicting task completion durations, which allows for resource optimization and the avoidance of delays. The second task is automated risk assessment, which helps to identify potential issues in advance and propose measures to mitigate them. By utilizing deep learning algorithms, the model can process data from multiple sources, such as project management systems, and adapt to new conditions. Key aspects of the model's design include its flexibility and adaptability. Even with limited access to data, the model demonstrates the ability to learn and make accurate predictions. Moreover, as the volume of data increases, its performance and accuracy improve further. The model can automatically update predictions and adjust planning in real-time, significantly enhancing the management of large and complex projects.*

**Key words:** *project planning, risk assessment, artificial intelligence, machine learning, neural networks, task duration forecasting, resource optimization, data analysis, predictive algorithms, project management automation, risk management, intelligent systems, adaptive planning, model training, recurrent neural networks, data normalization, data preparation for modeling.*

**Вступ.** У сучасних умовах глобалізації та цифровізації, управління проектами постає як складний і багатогранний процес, що потребує швидких, точних і адаптивних рішень. Традиційні методи планування та оцінки ризиків, такі як ручний аналіз даних та використання статичних моделей, часто не відповідають сучасним викликам, зокрема зростанню обсягів даних, швидкій зміні умов і необхідності враховувати численні взаємозалежні фактори. Успіх проекту тепер значною мірою залежить від здатності ефективно управляти ресурсами, точно прогнозувати строки виконання завдань і вчасно ідентифікувати ризики, які можуть виникнути під час його реалізації.

У цьому контексті технології штучного інтелекту, зокрема нейронні мережі, стали потужним інструментом для автоматизації процесів управління проектами. Вони здатні аналізувати великі обсяги даних, ідентифікувати складні закономірності, що не завжди є очевидними для людини, та надавати точні прогнози у реальному часі. Штучний інтелект не лише дозволяє зменшити витрати часу та ресурсів на планування, але й сприяє підвищенню точності прийняття рішень, що в кінцевому підсумку покращує результативність і стабільність виконання проекту.

**Налаштування середовища розробки.** Налаштування середовища для розробки моделі штучного інтелекту є критично важливим етапом, який визначає ефективність і стабільність усіх подальших процесів. Воно має бути оптимізованим для роботи з великими обсягами даних і відповідати вимогам навчання нейромереж. Основною мовою програмування обрано Python завдяки її багатій екосистемі бібліотек, що забезпечують повний цикл розробки моделі. Для побудови нейронної мережі використовується TensorFlow, що дозволяє створювати складні архітектури та підтримувати апаратне прискорення за допомогою GPU. Високорівневий API Keras спрощує створення та налаштування архітектури, тоді як Pandas, NumPy і Scikit-learn використовуються для обробки даних, нормалізації та роботи з категорійними змінними [1, с. 129–133].

Апаратне забезпечення є одним із ключових факторів, що впливають на швидкість навчання моделі. Графічні процесори (GPU) дозволяють значно прискорити обчислення порівняно з центральними процесорами (CPU), тому їх використання

є обов'язковим для великих задач машинного навчання. У разі відсутності потужного локального обладнання застосовуються хмарні сервіси, такі як Google Colab, що надає безкоштовний доступ до GPU і TPU. Це особливо корисно для тестування та навчання моделей із помірним набором даних. Альтернативно використовуються комерційні хмарні сервіси, зокрема AWS та Azure, які пропонують ресурси для масштабованих обчислень. Перед початком роботи з GPU перевіряється коректність встановлення драйверів CUDA та cuDNN, необхідних для роботи з TensorFlow [2, с. 389–400].

Для організації ізолюваного програмного середовища створюється віртуальне середовище Python. Воно забезпечує стабільність роботи та уникає конфліктів між залежностями різних проєктів. Пакети встановлюються за допомогою файлу requirements.txt, у якому перелічено всі необхідні бібліотеки. Наприклад, серед обов'язкових пакетів зазначаються TensorFlow, Pandas, NumPy, Scikit-learn і Matplotlib. Також можливе використання Anaconda, яка надає зручний інтерфейс для керування середовищами.

Для отримання реальних даних про завдання інтегрується система управління проєктами JIRA. За допомогою бібліотеки JIRA Python налагоджується автоматичний збір інформації про завдання, включаючи тривалість виконання, початкові оцінки, пріоритети та імена виконавців. Ці дані формують основу для навчання моделі, дозволяючи враховувати специфіку реальних проєктів. Автоматизація отримання даних із JIRA знижує витрати часу на ручний збір і забезпечує регулярне оновлення інформації [3, с. 295–300].

Перед основною роботою з моделлю проводиться тестування налаштованого середовища. Навчається проста модель для перевірки працездатності TensorFlow і роботи GPU. Окремо тестується стабільність з'єднання з JIRA API для гарантованого доступу до даних. Контроль версій здійснюється за допомогою Git, що дозволяє документувати зміни та забезпечує повторюваність процесу навчання. Таким чином, налаштоване середовище є основою для успішної реалізації моделі штучного інтелекту. Його правильна конфігурація мінімізує технічні ризики, забезпечує інтеграцію з реальними даними та створює зручну платформу для навчання й оптимізації моделі, яка буде використовуватися для планування проєктів і оцінки ризиків [4, с. 436–444].

**Вибір набору даних.** Для успішного створення моделі штучного інтелекту ключову роль відіграє якість і репрезентативність вибраного набору даних. Основним джерелом даних у цьому проєкті є система управління завданнями JIRA, яка надає детальну інформацію про виконання завдань у попередніх спринтах. Ці дані включають тривалість виконання завдань, їхні початкові оцінки, пріоритети, типи, а також інформацію про виконавців та залежності між завданнями. Такі параметри є дуже важливими для навчання моделі, оскільки вони впливають на прогнозування тривалості завдань і оцінку ризиків.

Отримання даних із JIRA виконується за допомогою бібліотеки JIRA Python, що дозволяє автоматизувати процес збору та отримувати необхідні метрики через API. Цей підхід забезпечує регулярне оновлення даних, що є необхідним для створення адаптивної моделі. Крім того, для тестування та перевірки моделі можуть використовуватися публічно доступні набори даних із платформ, таких як Kaggle або OpenML, які імітують реальні сценарії планування проєктів.

Для забезпечення якості даних проводиться їх попередня обробка. Видаляються пропущені значення, аномалії та некоректні записи. Дані нормалізуються для зведення всіх параметрів до одного масштабу, що є важливим для стабільного

навчання моделі. Категорійні дані, такі як імена виконавців або типи завдань, кодується в числовий формат для подальшої обробки нейронною мережею [5, с. 88–92].

Ретельний вибір і підготовка даних гарантують, що модель працюватиме коректно навіть із відносно невеликими обсягами інформації. Інтеграція з реальними даними з JIRA дозволяє забезпечити точність прогнозів і зробити модель більш практичною для застосування в управлінні проектами.

**Підготовка даних для моделі.** Ефективність роботи моделі штучного інтелекту залежить від правильності й ретельності підготовки даних. У цьому процесі ключовими етапами є очищення даних, нормалізація числових значень, перетворення категорійних даних та формування навчальних і тестових вибірок.

Першим етапом є очищення даних, яке включає виявлення та усунення пропущених значень, аномалій або некоректних записів. Наприклад, якщо дані про тривалість виконання завдань або початкову оцінку часу відсутні, такі записи видаляються або заповнюються середніми значеннями для відповідного типу завдань. Також видаляються аномалії, такі як нереалістично високі оцінки часу або дублювати завдань, що можуть спотворити результати навчання.

Для забезпечення ефективного навчання всі числові значення, такі як оцінки тривалості та фактичний час виконання завдань, нормалізуються. Це дозволяє звести всі значення до одного масштабу, що запобігає домінуванню параметрів із великими числовими значеннями. Нормалізація виконується за формулою:

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \text{ де}$$

$x$  – вихідне значення,  $x_{min}$  та  $x_{max}$  – мінімальне та максимальне значення у вибірці. Цей підхід дозволяє моделі ефективно працювати з різними типами даних і знижує ризик помилок під час навчання [6, с. 315–350].

Категорійні дані, такі як виконавці завдань, типи завдань ("Bug", "Feature", "Improvement") та їхні пріоритети, перетворюються в числовий формат. Для цього використовується метод кодування. Наприклад, Label Encoding присвоює кожній категорії унікальне числове значення, а One-Hot Encoding створює бінарні стовпці для кожної категорії, що відображають її наявність. Це дозволяє моделі добре працювати з текстовими параметрами, перетвореними на числові значення.

Наступним кроком є розподіл оброблених даних на навчальну, тестову та валідаційну вибірки. Це необхідно для перевірки продуктивності моделі на даних, яких вона раніше не бачила. Дані розподіляються у співвідношенні 70:20:10: 70% – для навчання, 20% – для тестування, 10% – для валідації. Перемішування даних перед розподілом гарантує, що модель не буде залежати від порядку записів у наборі.

Усі підготовлені дані формуються у вектори, де кожен вектор представляє одне завдання. Наприклад: Task Vector=[Assignee, Priority, Type, Estimate, Actual Time], де кожен елемент є числовим значенням або закодованим параметром. Це спрощує введення даних у модель та дозволяє ефективно їх обробляти. Ретельна підготовка даних забезпечує високу якість і стабільність навчання моделі.

**Побудова нейронної мережі для прогнозування тривалості та ризиків.** Розробка нейронної мережі для прогнозування тривалості виконання завдань і оцінки ризиків базується на багатопараметричній архітектурі, яка дозволяє ефективно працювати з різнорідними даними. Модель орієнтована на одночасне вирішення двох задач: регресії для оцінки тривалості та класифікації для визначення рівня ризиків. На першому етапі визначається структура вхідного шару. Дані про завдання

формується у вигляді числових векторів, що включають такі параметри, як виконавець, пріоритет та тип завдання, початкову оцінку часу, а також інші характеристики, що можуть впливати на результати. Кожен елемент такого вектора відповідає певному параметру завдання, який попередньо оброблений та нормалізований.

Далі будуються приховані шари нейронної мережі. У даній архітектурі використовується два основні приховані шари. Перший шар, який містить 64 нейрони, відповідає за виявлення базових закономірностей у вхідних даних. Другий шар із 32 нейронами здійснює більш деталізований аналіз і дозволяє моделі адаптуватися до складних взаємозв'язків між параметрами. У прихованих шарах застосовується функція активації ReLU (Rectified Linear Unit), яка забезпечує ефективність обчислень і дозволяє уникнути проблеми "зникаючого градієнта" [7, с. 85–117].

Вихідна частина моделі складається з двох окремих шарів. Перший вихід прогнозує тривалість завдань, використовуючи лінійну функцію активації, яка забезпечує отримання безперервних числових значень. Другий вихід відповідає за оцінку ризиків. Для цього використовується сигмоїдна функція активації, яка перетворює вихідні дані у ймовірність ризику в діапазоні від 0 до 1.

Для забезпечення стабільного навчання моделі використовується оптимізатор Adam (Adaptive Moment Estimation). Цей алгоритм адаптивно регулює швидкість навчання та забезпечує швидку конвергенцію навіть у складних задачах із великою кількістю параметрів. Крім того, для кожного виходу моделі задаються окремі функції втрат: середньоквадратична похибка для регресійної задачі прогнозування тривалості та бінарна крос-ентропія для класифікаційної задачі оцінки ризиків.

Ключовою перевагою такої архітектури є її гнучкість і багатофункціональність. Модель здатна обробляти різні типи даних і одночасно вирішувати декілька задач. Завдяки адаптивній структурі, модель може бути легко модифікована для включення додаткових характеристик або змін у вимогах [8, 450–460].

**Навчання моделі на історичних даних.** Навчання нейронної мережі здійснюється на основі історичних даних, які містять ключову інформацію про виконання завдань у попередніх проєктах. Процес навчання починається з розділення даних на три частини: навчальний набір для налаштування ваг нейронної мережі, тестовий набір для перевірки її точності та валідаційний набір, що дозволяє контролювати узагальнювальну здатність моделі та уникати перенавчання. Такий підхід гарантує, що модель буде ефективною на нових даних.

Для оптимізації ваг застосовується алгоритм зворотного поширення помилок у поєднанні з оптимізатором Adam. Цей метод забезпечує швидке й стабільне налаштування моделі навіть у випадках, коли дані мають значні відмінності в масштабах. Оптимізація виконується через ітерації (епохи), протягом яких модель аналізує навчальні дані й коригує свої параметри для зменшення похибок.

Навчання моделі враховує дві задачі. Перша – це прогнозування тривалості завдань, що є регресійною задачею. Для неї використовується функція втрат середньоквадратичної похибки, яка дозволяє вимірювати відхилення між фактичними та прогнозованими значеннями. Друга задача – це оцінка ризиків, яка виконується як класифікація. Для цього застосовується функція втрат бінарної крос-ентропії, яка оптимізує модель для роботи з ймовірностями ризиків [9, с. 60–75].

Під час кожної ітерації модель перевіряється на валідаційному наборі для оцінки її здатності до узагальнення. Цей підхід дозволяє забезпечити стабільну продуктивність моделі та уникати перенавчання, що є критичним для успішного використання моделі в реальних проєктах [10, с. 12–25].

**Висновки.** Використання штучного інтелекту для планування та оцінки ризиків у проєктах відкриває значні можливості для підвищення ефективності управління



проектами. Запропонована модель побудована на основі нейронної мережі, яка здатна працювати з великими обсягами даних, обробляти різноманітні характеристики завдань і забезпечувати точність прогнозів навіть у складних умовах. Основними перевагами розробленого підходу є його здатність одночасно вирішувати дві ключові задачі: прогнозування тривалості виконання завдань і оцінка потенційних ризиків.

У ході роботи було детально розглянуто всі етапи створення моделі. Налаштування середовища дозволило забезпечити стабільність і доступ до необхідних інструментів для моделювання. Етап вибору та підготовки даних охоплював роботу з історичними даними, нормалізацію вхідних характеристик і обробку категорійних змінних, що є важливим аспектом для забезпечення якості вхідної інформації. Побудова нейронної мережі враховувала потребу у двох виходах: регресійному для прогнозування тривалості та класифікаційному для оцінки ризиків. Навчання моделі було спроектовано з використанням алгоритму Adam, який забезпечує ефективну оптимізацію ваг і адаптацію до різних типів даних.

Подальший розвиток моделі може включати інтеграцію більш складних архітектур, таких як трансформери, розширення набору вхідних параметрів для покращення точності прогнозів і інтеграцію з популярними інструментами управління проектами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kerzner, H. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons, 2017, 129-133.
2. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd Edition, Springer, 2009, 389-400.
3. Alpaydin, E. *Introduction to Machine Learning*. MIT Press, 2014, 295-300.
4. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. Deep learning. *Nature*, 2015, 436-444.
5. Sommerville, I. *Software Engineering*. 10th Edition, Pearson, 2015, 88-92.
6. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016, 315-350.
7. Schmidhuber, J. *Deep Learning in Neural Networks: An Overview*. *Neural Networks*, 2015, 61, 85-117.
8. Russell, S., & Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th Edition, Pearson, 2020, 450-460.
9. Bishop, C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006, 60-75.
10. Graves, A. *Supervised Sequence Labelling with Recurrent Neural Networks*. Springer, 2012, 12-25.

#### REFERENCES:

1. Kerzner, H. (2017) *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons, 129-133.
2. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd Edition, Springer, 389-400.
3. Alpaydin, E. (2014) *Introduction to Machine Learning*. MIT Press, 295-300.
4. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015) Deep learning. *Nature*, 436-444.
5. Sommerville, I. (2015) *Software Engineering*. 10th Edition, Pearson, 88-92.
6. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016) *Deep Learning*. MIT Press, 315-350.
7. Schmidhuber, J. (2015) *Deep Learning in Neural Networks: An Overview*. *Neural Networks*, 61, 85-117.
8. Russell, S., & Norvig, P. (2020) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th Edition, Pearson, 450-460.
9. Bishop, C. M. (2006) *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 60-75.
10. Graves, A. (2012) *Supervised Sequence Labelling with Recurrent Neural Networks*. Springer, 12-25.

---

# ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## FOOD TECHNOLOGY

УДК 338.488.2:640.4]:338.124.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.14>

### СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО СЕКТОРУ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ КРИЗ ТА НЕСТАБІЛЬНОСТІ

---

**Бреніч О. Р.** – аспірант

Київського університету культури

ORCID ID: 0009-0007-6852-3608

**Неїленко С. М.** – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри готельно-ресторанної справи та туризму

Національного університету біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: 0000-0002-7282-2682

**Антоненко А. В.** – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції

Національного університету біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Повномасштабні військові дії, які відбуваються з 2022 року в Україні, негативно вплинули на всі сфери економіки, включно з ресторанним бізнесом. Ресторанний бізнес виявився однією із тих сфер, яка найбільше відчула на собі негативні наслідки в умовах глобальних криз та нестабільності. Проте, незважаючи на складну ситуацію, ресторанний бізнес в Україні поступово відновлюється. Тому актуальності набувають питання стратегії розвитку ресторанного господарства з урахуванням умов воєнного часу. Мета дослідження – визначити характерні особливості розвитку ресторанного господарства в умовах бойових дій. У статті використано такі наукові методи як: бібліографічний аналіз, аналіз і синтез, групування та порівняння. Для аналізу готельно-ресторанного сектору були використані дані Державної служби статистики України. Дані охоплюють період з кінця 2018 року до початку 2023 року. Окреслено проблеми, з якими зіткнулися підприємства ресторанного господарства України протягом 2022–2023 років. Визначено особливості розвитку готельно-ресторанного бізнесу та систематизовано чинники, що впливають на роботу готелів та ресторанів в умовах кризи. У межах дослідження доведено, що навіть в умовах воєнного стану можна виділити напрямки розвитку туристичної та готельно-ресторанної сфер, які здатні підтримати їх та зберегти економічний потенціал для післявоєнного відновлення. Таким чином, в умовах глобальних криз та нестабільності з'являються нові стратегії розвитку готельно-ресторанного бізнесу, які є переважно ситуативними орієнтирами. Серед векторів розвитку системи розвитку гостинно-туристичним бізнесом в Україні – адаптивність, інтегрованість та інноваційність. Після війни економічний потенціал територій може бути обмежений через руйнування

---

їх інфраструктури, зменшення робочої сили та виснаження природних ресурсів. Однак існуючі ресурси (природні ресурси, праця, інфраструктура, технології, інновації, освіта, охорона здоров'я тощо) можна зберегти для післявоєнної реконструкції та використати для їх загального відновлення за допомогою концепцій, викладених для збереження економічного потенціалу та створення нових можливостей для всебічного розвитку.

**Ключові слова:** стратегія розвитку, готельно-ресторанний бізнес, криза, воєнний стан, відновлення, економічний потенціал.

**Brenych O. R., Neilenko S. M., Antonenko A. V. Development strategies of the hotel and restaurant sector in the conditions of global crises and instability**

The full-scale military operations that have been taking place since 2022 in Ukraine have had a negative impact on all areas of the economy, including the restaurant business. The restaurant business turned out to be one of those areas that most felt the negative consequences of global crises and instability. However, despite the difficult situation, the restaurant business in Ukraine is gradually recovering. Therefore, the question of the strategy for the development of the restaurant industry, taking into account the conditions of wartime, is gaining relevance. The purpose of the research is to determine the characteristic features of the development of the restaurant industry in the conditions of hostilities. The article uses such scientific methodology as: bibliographic analysis, analysis and synthesis, grouping and comparison. Data from the State Statistics Service of Ukraine were used to analyze the hotel and restaurant sector. The data covers the period from the end of 2018 to the beginning of 2023. The results. The problems faced by the enterprises of the restaurant industry of Ukraine during 2022–2023 are outlined. The problems faced by the enterprises of the restaurant industry of Ukraine during 2022–2023 are outlined. The peculiarities of the development of the hotel and restaurant business are determined and the factors affecting the operation of hotels and restaurants in crisis conditions are systematized. Within the framework of the research, it is proven that even under martial law, it is possible to identify the directions of development of the tourist and hotel-restaurant spheres, which are able to support them and preserve the economic potential for post-war recovery. Thus, in the conditions of global crises and instability, new strategies for the development of the hotel and restaurant business appear, which are mainly situational guidelines. Adaptability, integration and innovativeness are among the development vectors of the hospitality and tourism business development system in Ukraine. After a war, the economic potential of the territories may be limited due to the destruction of their infrastructure, the reduction of the labor force and the depletion of natural resources. However, existing resources (natural resources, labor, infrastructure, technology, innovation, education, health care, etc.) can be preserved for post-war reconstruction and used for their overall recovery through concepts outlined to preserve economic potential and create new opportunities for comprehensive development.

**Key words:** development strategy, hotel and restaurant business, crisis, martial law, recovery, economic potential.

**Вступ.** Протягом останніх років Україна зіткнулася з такими глобальними кризами як пандемією COVID-19 та повномасштабне військове вторгнення на свою територію. Це призвело не тільки до величезних людських втрат, а й до значних втрат в економіці, особливо в готельно-ресторанному бізнесу. Проте, попри всі економічні виклики, з якими зіткнулася Україна в цей період, вітчизняна економіка продовжує дивувати своєю стійкістю. Незважаючи на економічні та часто прямі фізичні загрози, ресторанный бізнес в Україні поступово відновлюється та долає усі виклики які були спричинені війною.

**Постановка проблеми.** Дослідженню проблем розвитку готельно-ресторанному бізнесу в умовах воєнного стану присвячені праці відомих науковців, зокрема Г. Гапоненко, О. Євтушенко та ін. (2021), Т. Пономаренко (2022). Водночас наголошують науковці М. Рутинський та Г. Кушнірук Х (2020). що окупація Криму та пандемія COVID-19 призвели до значних збитків у промисловості та сферах послуг на сході України та спричинили кризи в українській економіці. Крім того, вчені І. Б. Румянцев та І. Я. Мендель (2024). зауважили, що повномасштабне вторгнення російської армії означало катастрофічний удар по готельно-ресторанному бізнесу, наслідки якого потребують негайної розробки стратегії розвитку. Сучасні

наукові дослідження зосереджені на виявленні можливих механізмів виходу з кризи та абстрактному аналізі українського досвіду та можливостей стабілізації.

**Мета дослідження.** Метою роботи є окреслення особливостей стратегій розвитку готельно-ресторанного бізнесу України в період кризи на короткострокову та довгострокову перспективи.

Методологічною основою дослідження є аналіз роботи готельно-ресторанного бізнесу в період буму туризму та гостинності в українській економіці та в часи кризи (спочатку пандемія COVID-19, пізніше повномасштабна військова вторгнення).

Для досягнення поставленої мети та вирішення поставлених завдань у дослідницькому процесі використано диференційований теоретико-методичний та практично-аналітичний науковий інструментарій, що ґрунтується на використанні наступних наукових методів. За допомогою бібліографічного та порівняльного аналізів проаналізовано дослідження проблемної галузі українських та інших вчених. У дослідженні використано такі дані: наукові статті, матеріали міжнародних конгресів, науково-практичні конференцій, статистичні дані Державної служби статистики України (2018–2023 рр.), інтернет-портал Сайт Бізнес.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема дослідження розвитку готельно-ресторанного бізнесу під час кризи залишається ще актуальною, особливо в період війни. Тому необхідно розробити конкретні стабілізаційні заходи, основою яких має стати система концепцій розвитку туристичної та готельно-ресторанної галузей України в умовах воєнного стану, оскільки вони дозволять максимально зберегти їхній економічний потенціал для післявоєнного відновлення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Готельна індустрія є галуззю економіки, яка одна з останніх відчуває вплив зовнішніх факторів кризи та її наслідки, вона чуйно реагує на динаміку змін у політичному та економічному житті, як певних країн, так і всього світу, на неї впливають розвиток нових технологій, екологічна ситуація та соціальні явища, які у суспільстві.

У зв'язку з військовими діями на території України більшість галузей зіткнулися зі значним падінням споживчого попиту, зростанням операційних витрат, високими ризиками тощо. Ресторанний бізнес виявився однією із тих сфер, яка найбільше відчула на собі негативні наслідки впливу війни. Проте, незважаючи на складну ситуацію, ресторанний бізнес в Україні поступово відновлюється. Цей процес відбувається нерівномірно, враховуючи територіальні особливості (на заході України та в Києві), а також вид діяльності: найшвидше відновлювалися кав'ярні, пекарні, ресторани люксового сегменту. Деякі заклади переорієнтували свою роботу на приготування їжі для Збройних Сил України, територіальної оборони та внутрішньо переміщених осіб.

За словами Г. Гапоненко, О. Євтушенко та ін. (2021), український ресторанний бізнес, не встигнувши оговтатися від кризи, викликані пандемією COVID-19, зіткнувся з ще більш серйозними проблемами внаслідок російського вторгнення. Водночас воєнна криза практично не торкнулася західних областей України, які, однак, відчули зростання цін, а також є труднощі з логістикою. Слід зазначити, що значна частина ресторанного бізнесу тією чи іншою мірою підтримує українську армію. Одним із шляхів вирішення питань відновлення ресторанного бізнесу є впровадження досвіду тих країн, які також постраждали від військових дій.

І. Румянцева та І. Мендела (2024) також звертають увагу на нерівномірність відновлення ресторанного бізнесу в Україні та акцентують увагу на необхідності його переорієнтації на надання бюджетних послуг в умовах післявоєнного відновлення.

Карантин, викликаний COVID-19, значно негативно вплинув на ресторанну індустрію. В результаті відбулося скорочення кількості ресторанів. М. Рутинський та Х. Кушнірук (2020). зазначають, що український ресторанний бізнес швидко пристосувався до мінливих умов, запровадивши послуги доставки, пропонуючи нові позиції меню, такі як безалкогольне вино, веганські страви, крафтові страви та напої, сезонні продуктове меню, монопродуктову орієнтацію, впровадження темного формату кухні тощо.

Наслідки пандемії та війни призвели до зменшення кількості підприємств, які працюють у секторі тимчасового розміщування та харчування. За даними Державної служби статистики України у 2018 році сектор харчування налічував 61761 суб'єктів господарювання, а вже в 2022 році 57734 суб'єктів господарювання (рис. 1).

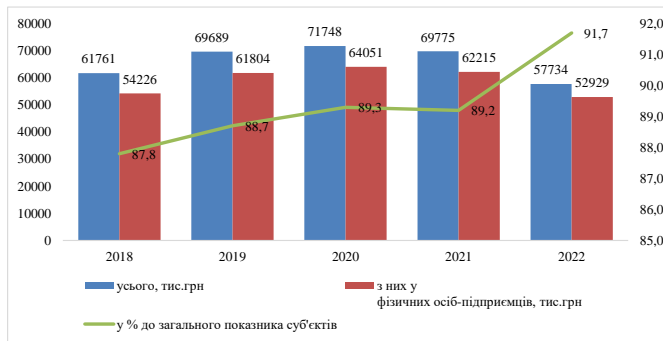


Рис. 1. Кількість закладів тимчасового розміщування та харчування в Україні протягом 2018–2022 рр.

Джерело: створено за даними Державної служби статистики України

Кількість готелів в Україні за 2018–2022 рр. також знизилась, найбільший приріст у готельно-ресторанному бізнесу був у 2020 році перед пандемією COVID-19 і налічувало 71748 суб'єктів господарювання, але с повномасштабного вторгнення у 2022 році кількість готелів в Україні знизилась до 57734 суб'єктів господарювання (рис. 2).

Зараз в Україні працює не більше 20% готелів (з них 90% бюджетного формату), а в грошовому еквіваленті це максимум 2–3%. Внаслідок бойових дій та тимчасової окупації територій багато об'єктів частково або повністю зруйновано.

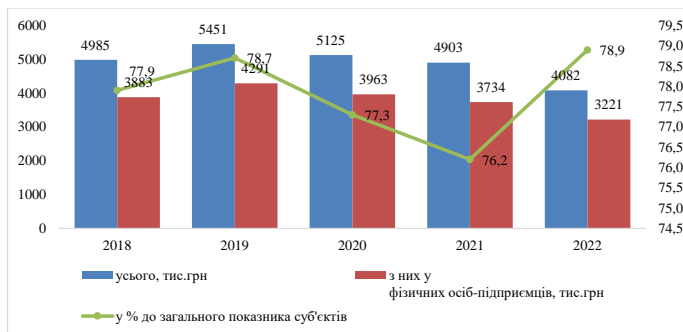


Рис. 2. Кількість готелів в Україні протягом 2018–2022 рр.

Джерело: створено за даними Державної служби статистики України

Згідно аналізу обсягів реалізованих послуг закладами тимчасового розміщування та харчування спостерігається неоднозначна тенденція. У 2021 році обсяг реалізованих послуг різко збільшився, це свідчить про адаптацію готельно-ресторанного бізнесу до карантинних обмежень (частка фізичних осіб-підприємців складала 55,2%) (рис. 3).

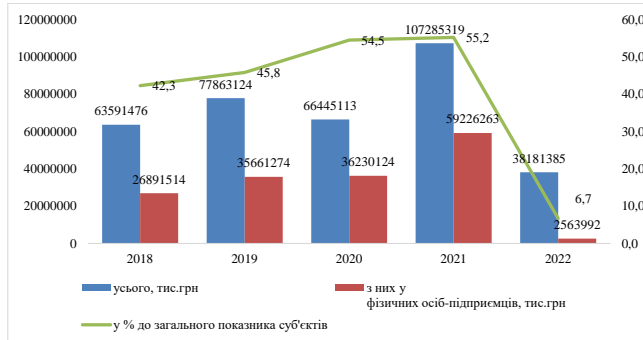


Рис. 3. Обсяг реалізованих послуг закладами тимчасового розміщування та харчування в Україні протягом 2018–2022 рр.

Джерело: створено за даними Державної служби статистики України

Отже, ресторанный сектор виявив стійкість до кризи COVID-19, проте у 2022 році через початок повномасштабного вторгнення, обсяг реалізованих послуг різко скоротився майже вдвічі, а частка фізичних осіб-підприємців впала до 6,7%.

Сьогодні багато готелів і ресторанів припинили роботу з міркувань безпеки, відсутності попиту або тому, що вони не можуть працювати з технічних причин (що також коштує країні). Найкраща ситуація на заході України: в Івано-Франківській, Львівській, Тернопільській та Закарпатській областях готелі та ресторани працюють на повну потужність і немає умов для закриття чи припинення їх роботи.

На думку М. Супруна (2022), з початку загальної війни в Україні відкрилося понад 2 тис. нових закладів громадського харчування, але близько 7 тис. припинили роботу. Загалом ресторанный ринок впав приблизно на 25% порівняно з лютим 2022 року. В окремих регіонах падіння становить понад 50% (Харківська, Миколаївська, Запорізька та Луганська області); у Київській, Одеській та Дніпропетровській областях падіння становить до 30%. На початку літа падіння ринку було ще більш відчутним. Однак у Києві ресторани почали відкриватися в червні (Кобинець, 2022). Найбільш інтенсивно ресторанный ринок розвивався у Львові: з початку війни відкрито понад 500 нових ресторанів.

Розглядаючи проблеми розвитку готельно-ресторанної індустрії в Україні сьогодні, варто їх розділити на економічні, соціокультурні та людські:

1) У загальноекономічному сенсі проблема готельно-ресторанного бізнесу в Україні перебуває в кризовому стані через фактичну зупинку нормальної економічної діяльності (економічний спад у цілому, порушення логістики, втрата клієнтської бази, падіння доходів), що негативно впливає на його розвиток;

2) У соціокультурному вимірі криза проявляється у прямій недоступності галузевих об'єктів (окупація, втрата власності та ресурсів, обмеження доступу) та кадровому дефіциті (еміграція, мобілізація менеджерів різного рівня);

3) У людському контексті криза охоплює такі аспекти, як відсутність умов для сталого (а тим більше інноваційного) розвитку та негативний морально-психологічний клімат.

У 2022 році з'явилися перші дослідження щодо впливу бойових дій в Україні на сферу торгівлі та послуг, які загалом окреслили проблеми в усіх аспектах бізнесу, включно і готельно-ресторанний бізнес (Кобинець, 2022). Згідно з онлайн-опитуванням, проведеним у рамках дослідження у 2022 році, близько 24% підприємств гостинності в Україні були змушені призупинити діяльність, а 54% суттєво обмежили надання послуг (рис. 4).

Незважаючи на ризиковану та непередбачувану ситуацію в країні, український готельно-ресторанний бізнес намагається адаптуватися, виживати та навіть розвиватися. Тим не менш, сектор гостинності продовжує боротися з труднощами і має оптимістичні надії на поживлення своєї діяльності. Для виходу з кризи готельно-ресторанна індустрія потребує підтримки з боку держави та маркетингових підходів до залучення клієнтів.

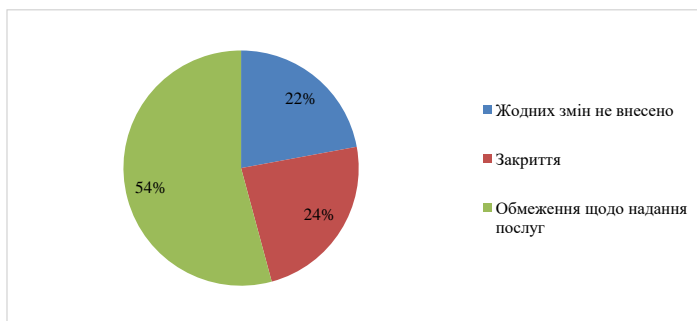


Рис. 4. Вплив воєнного стану на індустрію гостинності в Україні

Джерело: складено на основі (Кобинець, 2022)

За підсумками аналізу, навіть в умовах воєнного стану готельно-ресторанний бізнес намагається відновити свою діяльність, однак це значно ускладнено активними бойовими діями на території України. Тому в даному дослідженні для збереження економічного потенціалу післявоєнного відновлення пропонуються такі рекомендації:

1. Проведення переговорів та подальша співпраця зі світовими готельними мережами. Важливо розпочати такі переговори сьогодні та запросити міжнародні готельні мережі прийти в Україну, щоб будувати стратегії розвитку після війни. Дослідження підтверджує пропозиції Bernthal (2022). Це пошукове дослідження означає, що стратегії співпраці дозволяють міжнародним мережам готелів конкурувати та успішно розвиватися на світових ринках. В умовах війни така співпраця може стати інструментом післявоєнного відновлення готельного бізнесу.

2. Створення вигідних умов для проживання іноземних громадян. Д. Гурсой та ін., (2022), зазначили, що приблизно 90% іноземців, які раніше приїжджали в Україну, зараз відмовляються через відчуття небезпеки (навіть у регіонах, де не ведуться активні бойові дії). Найоптимальніша ситуація на заході України (це безпечніша частина країни). Це потрібно демонструвати іноземцям при формуванні іміджу готелів.

3. Проведення широкомасштабної маркетингової кампанії на зовнішніх ринках. Така маркетингова кампанія дозволить Україні змінити своє сприйняття з місця війни на безпечне місце для подорожей.

4. Аналіз ринку. Це правило завжди актуальне, особливо в період кризи. Компанії повинні бути максимально мобільними та гнучкими, щоб адаптуватися до поточних умов та важкого часу. Керівники готелів повинні постійно стежити за рухом зон бойових дій і реакцією споживачів на ситуацію. Це правило діяло ще під час пандемії COVID-19. Дослідження погоджується з Філімоновим (2021), який підкреслив важливість адаптивності в індустрії гостинності під час кризи.

5. Цифровізація. Цифровізація є одним із факторів, який може допомогти зберегти послуги гостинного бізнесу в Україні та забезпечити швидке відновлення втраченого потенціалу (Bernthal 2022)

З одного боку, це суттєво оптимізує управлінську діяльність, підвищуючи її ефективність і безпеку, але з іншого – такі реалії становлять загрозу людському фактору управління, оскільки в таких умовах виникає кадрова проблема (а точніше відсутність попиту на робочі місця в цій сфері, функції яких будуть замінені цифровими технологіями).

Своєрідним узгоджувальним шляхом для розвитку туристичної та готельної індустрії в контексті розвитку цифрового потенціалу та необхідності збереження робочих місць є концепція автоматизації галузі (Іванов та ін., 2022). Такий підхід передбачає активне впровадження цифрових та інформаційних технологій, але як інструмент (керований тими ж менеджерами), а не як альтернативу чи повну заміну звичної управлінської діяльності.

6. Розвиток бюджетних готелів і ресторанів, у тому числі в локальних безпечних зонах і Внутрішніх Східних Карпатах, або перехід існуючих об'єктів на цю концепцію слід розглядати в концепції збереження економічного потенціалу післявоєнного відновлення, у зв'язку з деякими факторами, серед яких:

1) скорочення термінів стратегічного планування на більшості об'єктів (що не перевищує тижня);

2) трансформація основного комерційного завдання для бізнесу (наразі це збереження життєздатності в нових реаліях, де деякі об'єкти фізично знищені, внутрішньо переміщені в безпечні регіони тощо);

3) загальне зниження рівня життя населення (зокрема, згідно з опитуванням дослідницької компанії Gradus Research, понад 70% українців через війну скоротили доходи, а 66% відчувають потребу за гроші) (Сайт Бізнес, 2022).

Тому для подальшого розвитку готельно-ресторанної індустрії в Україні необхідно розвивати формати діяльності, які можуть забезпечити доступні ціни на проживання та харчування. Щоб досягти цього, можна вжити наступних заходів:

Розвиток бюджетних закладів ресторанного господарства може здійснюватися в таких форматах: кафе-бістро, фудкорт, фаст-фуд, піцерії, кав'ярня, заклади громадського харчування (самообслуговування). Нижче подано характеристику можливих напрямів розвитку бюджетних форматів закладів ресторанного господарства, які необхідно розвивати в умовах воєнного стану з відповідними описами та характеристиками (табл. 1).

Концепція розвитку закладів бюджетного ресторанного господарства в умовах війни спрямована на забезпечення якісним і доступним харчуванням населення, яке проживає в зонах конфлікту або потребує тимчасового переселення. Першим кроком до реалізації концепції є пошук оптимального приміщення, яке можна використовувати як ресторан чи кухню рівня, що відповідає вимогам бюджетної сфери. Далі слід орієнтуватися на забезпечення мінімальних витрат на будівництво та оснащення кухні та ресторану. Цього можна досягти за рахунок простих технологій та інноваційних рішень.



Наступний крок – забезпечення ефективної роботи кухні та ресторану. Цього можна досягти, залучивши волонтерів або спеціалістів з місцевих громад, які мають досвід приготування та обслуговування гостей. Для забезпечення максимальної ефективності ресторан може запропонувати прості та доступні страви з місцевих продуктів та ресурсів. Крім того, місцеві громади можуть бути залучені до вирішення питань, пов'язаних із підтримкою ресторану, таких як постачання продуктів та утилізація відходів.

2. Розвиток бюджетних закладів розміщення в індустрії гостинності може включати такі формати: гестхауси, мотелі, хостели, кемпінги, бюджетні квартири, капсульні готелі. Нижче наведено характеристику можливих напрямів розвитку бюджетних форматів розміщення в індустрії гостинності (табл. 2).

Концепція розвитку бюджетних форматів закладів гостинності у воєнний час спрямована на забезпечення якісним та доступним житлом людей, які потребують тимчасового проживання, у тому числі постраждалих від військових конфліктів.

Таблиця 1

### Опис потенційних напрямків розвитку бюджетних форматів закладів ресторанного господарства в межах області

Формат закладу	Опис	Особливості бюджетного формату
Кафе-бістро	Ці заклади орієнтуються на швидке обслуговування та низькі ціни	Невеликі кафе зі стійкою для замовлення та обслуговування за стійкою. Меню в основному складається з простих страв з мінімальними витратами інгредієнтів.
Фудкорти	Ці заклади спеціалізуються на приготуванні фастфуду або сніданку за доступними цінами	Фудкорти зазвичай розташовані на вулицях, поблизу офісних центрів, вокзалів. Меню складається зі страв швидкого харчування, таких як супи, сендвічі та салати.
Фастфуд	Ці заклади спеціалізуються на приготуванні швидких страв	У цих закладах можуть бути представлені меню з обмеженим набором страв і напоїв, які можна швидко приготувати і подати. Часто такі заклади мають невеликі розміри та низькі ціни на страви.
Піцерії	Ці заклади спеціалізуються на приготуванні піци.	Ці заклади можуть пропонувати обмежений вибір піци та інших закусок, таких як салати, але за низькими цінами на страви. Такі заклади можуть пропонувати послуги доставки або отримання замовлень на місці.
Кав'ярня	Ці заклади спеціалізуються на приготуванні кави та інших напоїв.	Кав'ярні можуть пропонувати обмежену кількість кави та інших напоїв, таких як чай, сік і коктейлі (а також десерти та закуски). Такі заклади можуть мати невеликі розміри та низькі ціни на напої та закуски.
Самообслуговування	Ці заклади орієнтуються на клієнтів, які самостійно складають свій обід чи вечерю з різноманітних компонентів або вибирають його зі спеціальних вітрин.	Заклади громадського харчування можуть включати шведський стіл з різними стравами та напоями, які клієнти можуть взяти самі, або прилавки з готовими стравами, які можна спожити на місці або взяти з собою. Ці заклади можуть мати різні кухні, включаючи місцеву та міжнародну кухню.

*Джерело: власна розробка*

Таблиця 2

### Характеристика можливих напрямків розвитку бюджетних форматів готельних закладів

Формат закладу	Опис	Особливості бюджетного формату
Гостьові будинки	Приватні будинки або квартири, які власники здають в оренду.	Зазвичай мають нижчу ціну порівняно з готелями та пропонують можливість залишитися в затишному приватному просторі.
Мотелі	Установа розташована на околицях міст або трасах.	Забезпечте базове розміщення для туристів, які шукають зручне житло під час своїх подорожей.
Хостели	Заклади розміщення, де гості мають спільне місце для сну та відпочинку, називаються гуртожитками.	Надають бюджетне житло для туристів, часто знаходяться в центрі міста, мають спільні кухні та ванні кімнати, можуть мати різні категорії номерів.
Кемпінги	Заклад, який надає можливість розміщення туристів у наметах чи вагончиках.	Часто розташовані в природних зонах, вони мають основні зручності для проживання та можуть мати спільні кухні, душові та туалети.
Квартири	Квартири або будинки, що здаються для короткострокового проживання туристів.	Вони забезпечують більше простору та автономності для гостей, можуть мати повністю обладнану кухню та пральну машину, а ціна може змінюватись залежно від рівня комфорту.
Капсульні готелі	Заклад із розміщенням у вузьких капсулах, розташованих у спільному просторі.	Надають можливість проживати в комфортних умовах за доступною ціною, часто розташовані в центрі міста, гості можуть мати доступ до спільних ванних кімнат і кухонь.

*Джерело: власна розробка*

Основними принципами цієї концепції мають бути економія коштів, використання тимчасових рішень та інноваційних технологій, що дозволяють створити комфортні умови проживання. По-перше, необхідно забезпечити ефективне використання наявних ресурсів, таких як приміщення, інвестиції та технічні рішення, які зменшують витрати на будівництво та ремонт. Крім того, важливо забезпечити оптимальний розподіл фінансових ресурсів, у тому числі залучення грантів та донорської допомоги. Для розвитку бюджетних форматів закладів гостинності у воєнний час слід зосередити увагу на розвитку тимчасових житлових комплексів, які забезпечують необхідний комфорт мешканцям за місцевими стандартами. Такі комплекси можуть бути різних типів від тимчасових наметових містечок до приміщень перепрофільованого призначення.

**Висновки.** Дослідження проводилося в умовах постійних змін в Україні, пов'язаних з військовими діями. Постійність ситуації була пов'язана як з економічною кризою та невизначеністю, так і з глибшими проблемами (зокрема, територіальним аспектом окупованих територій, переміщенням гостинного бізнесу та масовою міграцією керівництва). Таким чином, результати дослідження в основному окреслюють проблеми, з якими стикається туристична та готельно-ресторанна галузь України. У рамках дослідження показано, що навіть в умовах воєнного часу можна визначити напрями розвитку туристичної та готельно-ресторанної галузей, які можуть їх підтримати та зберегти економічний потенціал для післявоєнного

відновлення. Вважаємо, що для адаптації з метою післявоєнної відбудови України та забезпечення її подальшого розвитку готельно-ресторанного бізнесу можна запропонувати такі заходи: співпраця зі світовими готельними мережами; залучення іноземних громадян та створення для них вигідних умов для проживання; проведення широкомасштабної маркетингової кампанії на зовнішніх ринках; адаптуватися до поточних умов в країні; впровадження цифрових та інформаційних технологій; розвивати бюджетні готельно-ресторанні заклади для населення, які проживають в зонах конфлікту або ВПО. Після війни економічний потенціал цих територій може бути обмежений через руйнування їх інфраструктури, зменшення робочої сили та виснаження природних ресурсів. Однак існуючі ресурси (природні ресурси, праця, інфраструктура, технології, інновації, освіта, охорона здоров'я тощо) можна зберегти для післявоєнної реконструкції та використати для їх загального відновлення за допомогою концепцій, викладених для збереження економічного потенціалу та створення нових можливостей для всебічного розвитку.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у зміні стратегії розвитку готельно-ресторанного бізнесу України, які фактично формуються на адаптивності, інтегрованості та інноваційності. Тому новинка має переважно оперативно-практичний характер, що супроводжується щоденними трансформаціями управлінської діяльності ресторанного бізнесу в нестабільних умовах. Практичне значення одержаних результатів виявляється у використанні ресоранами та державою запропонованих стратегій розвитку готельно-ресторанного бізнесу України післявоєнне відновлення. Перспективи подальших досліджень полягають у використанні розроблених рекомендацій і концепцій для формування стратегії розвитку туристичної та готельно-ресторанної сфер в умовах воєнного стану, яка дозволить зберегти їх економічний потенціал для післявоєнне відновлення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бернталь Р. Журнал Україна: Готельний бізнес в Україні під час війни з Росією. *Журнал Travel Writers*. 2022. URL: <https://www.travelwritersmagazine.com/ukraine-journal-hotel-business-in-ukraine-during-war-with-russia/>
2. Гурсой Д., Малодія С., Дір А. Метавсесвіт в індустрії гостинності та туризму: огляд поточних тенденцій і майбутніх напрямків досліджень. *Журнал гостинного маркетингу та менеджменту*, 2022. 31 (5), 527-534. URL: <https://doi.org/10.1080/19368623.2022.2072504>
3. Іванов С. Х., Вебстер К., Стойлова Е., Слободской Д. Біозахист, антикризове управління, технології автоматизації та економічні показники туристичних, туристичних і гостинних компаній – Концептуальна основа. *Економіка туризму*, 2022. 28 (1), 3-26. URL: <https://doi.org/10.1177/1354816620946541>
4. Кількість діючих суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності (2010–2022): Економічна статистика. Державна служба статистики України. 2024. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/size\\_20.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/size_20.htm)
5. Кобинець Я. Герої невидимого фронту: Ресторани на захисті продовольчої безпеки України. 2022. URL: <https://mind.ua/news/20248303-geroyi-nevidi-mogo-frontu-restorani-na-zahis-ti-prodovolchoyi-bezpeki-ukrayini>
6. Кожухівська Р., Саковська О., Масловата С., Длугоборська Л., Чучмій І. Управління інноваціями в індустрії туризму та гостинності : міжнародний досвід. *AIP Конференція Праці*, 2022. 2413 (1), 040007. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0089854>
7. Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності (2010–2022): Економічна статистика. Державна служба статистики України. 2024. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/size\\_20.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/size_20.htm)

8. Румянцева І. Б., Мендела І. Я. Готельна індустрія України в умовах воєнного часу. Проблеми сучасних трансформацій. *Серія: економіка та управління*, 2024. № 11. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-11-12-02>

9. Рутинський М., Кушнірук Х. Вплив карантину через до COVID 19 пандемія на в індустрія туризму в Львів (Україна). *Проблеми і Перспективи в менеджменті*, 2020. 18 (2), 194-205. DOI: [https://doi.org/10.21511/ppm.18\(2\).2020.17](https://doi.org/10.21511/ppm.18(2).2020.17)

10. Сайт Бізнес. Як український ресторанный бізнес адаптується до викликів війни: дослідження. 2022. URL: <https://business.rayon.in.ua/news/547964-yakukrainskiy-restoranniy-biznes-adaptuetsya-do-viklikivviyni-doslidzhennya>

11. Супрун М. З початку війни в Україні закрито близько 7000 ресторанів та кафе. Великий Київ. 2022. URL: <https://bigkyiv.com.ua/z-pochatku-vijnyv-ukrayini-zakrylosya-blyzko7000-restoraniv-ta-kafe/>

12. Філімонів В. Перспективи управління відходами в секторі гостинності після COVID-19. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. 168, 105272. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105272>

13. Фісун І., Кучер М., Стеблюк Н., Сайгак Ю., Прокопенко О. Моделювання стратегії розвитку туристичних компаній під впливом зовнішнього та внутрішнього середовища: Факти з України. *Туризм і подорожі*, 2022. 4 (1), 1– 15. URL: [https://doi.org/10.21511/tt.4\(1\).2022.01](https://doi.org/10.21511/tt.4(1).2022.01)

#### REFERENCES:

1. Bernthal R. (2022). Zhurnal Ukraina: Hotelnyi biznes v Ukraini pid chas viiny z Rosiieiu. [Ukraine Journal: Hotel business in Ukraine during the war with Russia]. *Travel Writers Magazine*. Available at: <https://www.travelwritersmagazine.com/ukraine-journal-hotel-business-in-ukraine-during-war-with-russia/> [in English].

2. Gursoy D., Malodia S., Dhir A. (2022). Metavesvit v industrii hostynnosti ta turyzmu: ohliad potochnykh tendentsii i maibutnykh napriamkiv doslidzhen. [The metaverse in the hospitality and tourism industry: An overview of current trends and future research directions]. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 31(5), 527-534. Available at: <https://doi.org/10.1080/19368623.2022.2072504> [in English].

3. Ivanov S. H., Webster C., Stoilova E., Slobodskoy D. (2022). Biozakhyst, antykrizove upravlinnia, tekhnolohii avtomatyzatsii ta ekonomichni pokaznyky turystychnykh, turystychnykh i hostynnykh kompanii – Kontseptualna osnova. [Biosecurity, crisis management, automation technologies and economic performance of travel, tourism and hospitality companies – A conceptual framework]. *Tourism Economics*, 28(1), 3-26. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/1354816620946541> [in English].

4. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2024). Kilkist diuuchykh subiektiv hospodariuvannia za vydamy ekonomichnoi diialnosti (2010–2022): Ekonomichna statystyka [Number of operating business entities by type of economic activity (2010–2022): Economic statistics]. Available at: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/sze\\_20.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm) [in Ukrainian].

5. Kobynets Ya. (2022). Heroes of the invisible front: Restaurants protecting Ukraine's food security. [Heroi nevydymoho frontu: Restorany na zakhysti prodovolchoi bezpeky Ukrainy]. *Mind*. Retrieved from <https://mind.ua/news/20248303-geroyi-nevidi-mogo-frontu-restorani-na-zahis-ti-prodovolchoyi-bezpeki-ukrayini> [in Ukrainian]

6. Kozhukhivska R., Sakovska O., Maslovata S., Dluhoborska L., Chuchmii I. (2022). Upravlinnia innovatsiiamy v industrii turyzmu ta hostynnosti : mizhnarodnyi dosvid. [Managing innovation in tourism and hospitality industry: International experience]. *AIP Conference Proceedings*, 2413(1), 040007. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0089854> [in English].

7. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2024). Obsiah realizovanoi produktsii (tovariv, posluh) subiektiv hospodariuvannia za vydamy ekonomichnoi diialnosti (2010–2022): Ekonomichna statystyka [Volume of products (goods, services) sold

by business entities by types of economic activity (2010–2022): Economic statistics]. Available at: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/sze\\_20.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm) [in Ukrainian].

8. Rumiantseva, I. B., Mendela, I. Ya. (2024). *Hotelna industriia Ukrainy v umovakh voiennoho chasu* [Hotel industry of Ukraine in wartime]. Seriya: ekonomika ta upravlinnia – Problems of modern transformations. Series: Economics and Management, vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-11-12-02> [in Ukrainian].

9. Rutynskiy M., Kushniruk H. (2020). *Vplyv karantynu cherez do COVID 19 pandemiia na v industriia turyzmu v Lviv (Ukraina)*. [The impact of quarantine due to COVID-19 pandemic on the tourism industry in Lviv (Ukraine)]. *Problems and Perspectives in Management*, 18(2), 194-205. Available at: [https://doi.org/10.21511/ppm.18\(2\).2020.17](https://doi.org/10.21511/ppm.18(2).2020.17) [in Ukrainian].

10. Ofitsiynny Sayt Biznes (2022), "How the Ukrainian restaurant business adapts to the challenges of war: research". Available at: <https://business.rayon.in.ua/news/547964-yakukrainskiy-restoranniy-biznes-adaptuetsya-do-viklikivviynidoslidzhennya> [in Ukrainian].

11. Suprun M. (2022). *Z pochatku viiny v Ukraini zakrylosia blyzko 7000 restoraniv ta kafe* [Since the beginning of the war, about 7,000 restaurants and cafes have been closed in Ukraine]. *Big Kyiv*. Available at: <https://bigkyiv.com.ua/z-pochatku-vijnyv-ukrayini-zakrylosya-blyzko7000-restoraniv-ta-kafe/> [in Ukrainian].

12. Filimonau V. (2021). *Perspektyvy upravlinnia vidkhodamy v sektori hostynnosti pislia COVID-19*. [The prospects of waste management in the hospitality sector post COVID-19]. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2020.105272> [in English].

13. Fisun I., Kucher M., Stebliuk N., Saihak Y., Prokopenko O. (2022). *Modeliuvannia stratehii rozvytku turystychnykh kompanii pid vplyvom zovnishnoho ta vnutrishnoho seredovyscha: Fakty z Ukrainy*. [Modelling development strategy of tourism companies under the influence of external and internal environment: Evidence from Ukraine]. *Tourism and Travelling*, 4(1), 1-15. Available at: [https://doi.org/10.21511/tt.4\(1\).2022.01](https://doi.org/10.21511/tt.4(1).2022.01)

УДК 159.942:664

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.15>

## ПРОФІЛАКТИКА І ПОДОЛАННЯ ЕМОЦІЙНОГО ВИГОРАННЯ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ І ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Варнавська І. В.** – кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри соціальних та поведінкових наук  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3061-0665

Ця стаття присвячена вивченню причин та наслідків емоційного вигорання, а також практичним заходам щодо його профілактики та подолання. Емоційне вигорання проявляється у вигляді фізичного та психічного виснаження, цинізму та зниження особистої ефективності, що негативно позначається не лише на здоров'ї працівників, але й на загальній продуктивності підприємств.

Стаття детально аналізує основні фактори, що сприяють розвитку емоційного вигорання, такі як високі вимоги до продуктивності, сезонні коливання, конкуренція на ринку, недостатня соціальна підтримка, фінансові труднощі, монотонність завдань та негативна організаційна культура. Увага приділяється важливості підтримки психологічного благополуччя працівників для запобігання вигоранню, а також необхідності створення здорового робочого середовища.

Окремо обговорюються результати досліджень, що підтверджують актуальність проблеми емоційного вигорання, в тому числі роботи таких фахівців, як Крістіна Маслач, яка розробила шкалу для вимірювання рівнів вигорання, і Т. К. Мохамед, який аналізує вплив організаційної культури на запобігання вигоранню. В статті наводяться рекомендації щодо запровадження програм підтримки працівників, які включають навчання та розвиток, організацію робочого процесу та створення умов для гнучкого графіка.

Зокрема, стаття пропонує методи профілактики, серед яких особлива увага приділяється важливості психоемоційної підтримки, навчання технікам управління стресом, формуванню позитивного мислення та розвитку командного духу. Такі тренінги сприяють формуванню навичок ефективного подолання стресових ситуацій і зміцнюють психологічну стійкість працівників.

У підсумку, стаття наголошує на важливості комплексного підходу до профілактики та подолання емоційного вигорання, що дозволяє не лише зберегти здоров'я працівників, але й забезпечити ефективну діяльність підприємств у умовах високої конкуренції. Вона сприяє формуванню більш свідомого ставлення до психоемоційного благополуччя на робочому місці та відкриває нові перспективи для подальших досліджень у цій галузі.

**Ключові слова:** емоційне вигорання, профілактика і подолання, харчова промисловість, психологічне благополуччя, психоемоційна підтримка, стрес, робоче середовище, командний дух, психологічна стійкість, методи управління стресом, професійна діяльність.

### **Varnavska I. V. Prevention and overcoming of emotional burnout of specialists of food and processing industry enterprises**

This article is devoted to the study of the causes and consequences of emotional burnout, as well as practical measures to prevent and overcome it. Emotional burnout is manifested in the form of physical and mental exhaustion, cynicism and a decrease in personal effectiveness, which negatively affects not only the health of employees but also the overall productivity of enterprises.

The article analyses in detail the main factors that contribute to the development of emotional burnout, such as high productivity requirements, seasonal fluctuations, market competition, insufficient social support, financial difficulties, monotonous tasks and negative organisational culture. Attention is paid to the importance of maintaining the psychological well-being of employees to prevent burnout, as well as the need to create a healthy working environment.

The results of studies confirming the relevance of the problem of emotional burnout are discussed separately, including the work of such specialists as Kristina Maslach, who developed a scale for measuring burnout levels, and T. K. Mohamed, who analyses the impact of organisational culture on preventing burnout. The article provides recommendations for the implementation of employee support programmes, including training and development, workflow organisation and flexible working arrangements.

*In particular, the article suggests prevention methods, with a special focus on the importance of psycho-emotional support, training in stress management techniques, positive thinking and team spirit development. Such trainings contribute to the development of skills to effectively overcome stressful situations and strengthen the psychological resilience of employees.*

*In summary, the article emphasizes the importance of a comprehensive approach to preventing and overcoming emotional burnout, which allows not only to preserve the health of employees but also to ensure the effective operation of enterprises in a highly competitive environment. It contributes to the formation of a more conscious attitude towards psycho-emotional well-being in the workplace and opens up new prospects for further research in this area.*

**Key words:** *emotional burnout, prevention and overcoming, food industry, psychological well-being, psycho-emotional support, stress, work environment, team spirit, psychological resilience, stress management methods, professional activity.*

**Вступ.** Сучасні умови ведення бізнесу в харчовій і переробній промисловості вимагають від працівників високого рівня відданості, ефективності та адаптивності до швидко змінюваних умов. Разом із зростанням вимог до продуктивності, зростає і ризик виникнення емоційного вигорання – стану, що супроводжується фізичним і психічним виснаженням, цинізмом та зниженням особистої ефективності. У цій статті розглядаються причини виникнення емоційного вигорання у фахівців підприємств харчової і переробної промисловості, а також запропоновані практичні рішення для його профілактики і подолання.

В умовах, коли інтенсивна робота, стрес і нестабільність ринку стають звичними, важливо звернути увагу на психологічний добробут працівників. Емоційне вигорання не тільки негативно впливає на здоров'я фахівців, але й знижує загальну продуктивність підприємств, призводить до підвищення плинності кадрів і зниження якості роботи. Тому питання профілактики і подолання цього синдрому є надзвичайно актуальним.

У статті будуть розглянуті основні фактори, що сприяють розвитку емоційного вигорання у працівників харчової та переробної промисловості, а також вказані ефективні стратегії та інструменти, що можуть допомогти як індивідуально, так і на рівні організації.

**Мета дослідження:** визначення ключових аспектів, що можуть сприяти формуванню здорового робочого середовища, яке підтримує працівників у боротьбі з емоційним вигоранням. Таким чином, стаття надає практичні рекомендації для фахівців і керівництва підприємств, спрямовані на створення більш ефективної і підтримуючої робочої атмосфери.

**Аналіз наукових досліджень.** Аналіз останніх досліджень проблеми емоційного вигорання фахівців підприємств харчової і переробної промисловості показує, що це явище набуває все більшої актуальності в контексті сучасних викликів на ринку праці. Дослідження емоційного вигорання, зокрема в контексті фахівців підприємств харчової та переробної промисловості, активно проводять фахівці з різних дисциплін, включаючи психологію, управління, соціологію та економіку. Так, Крістіна Масляч розробила концепцію вигорання і створила Шкалу вигорання Масляч, що використовується для вимірювання рівнів вигорання у професійних групах, включаючи викладачів і медичних працівників. К. Беннер акцентує увагу на соціально-психологічних факторах, які впливають на емоційний стан працівників.

Т. К. Мохамед аналізує особливості емоційного вигорання в контексті харчової промисловості, зокрема зосереджуючи увагу на впливі організаційної культури та стратегії управління на запобігання вигоранню, О. С. Баранов досліджує специфіку емоційного вигорання у представників різних професій, зокрема в харчовій

промисловості, акцентуючи увагу на профілактичних заходах. Роботи цих дослідників надають цінні інсайти в розуміння проблеми емоційного вигорання та можливості його подолання. Вони формують основи для подальших досліджень та практичних рекомендацій у сфері профілактики і подолання вигорання фахівців підприємств харчової та переробної промисловості.

Отже, останні дослідження підтверджують, що емоційне вигорання є серйозною проблемою для фахівців підприємств харчової і переробної промисловості, що потребує комплексного підходу до профілактики та подолання. Важливо впроваджувати ефективні стратегії та програми підтримки працівників для створення здорового робочого середовища. Дослідження відкривають нові перспективи для розуміння цієї проблеми і вказують на необхідність постійної уваги до психоемоційного добробуту працівників.

**Виклад основного матеріалу.** Емоційне вигорання – це складний психоемоційний стан, що виникає внаслідок тривалого і інтенсивного стресу, пов'язаного з професійною діяльністю. Цей стан характеризується відчуттям фізичного і психічного виснаження, цинізмом та зниженням особистої ефективності. На зараз дослідження в цій галузі акцентують увагу на кількох важливих аспектах, що допомагають глибше зрозуміти природу емоційного вигорання.

Емоційне вигорання є не лише наслідком перевантаження працівника, а й відображенням його особистісних характеристик і психічного стану. У цьому контексті важливо враховувати такі фактори, як: почуття контролю: люди, які відчувають себе безсилими перед труднощами, піддаються більшому ризику розвитку емоційного вигорання; самооцінка: низька самооцінка може призводити до надмірної самокритики і відчуття безнадійності, що підвищує ймовірність вигорання; стиль копінг: спосіб, яким людина реагує на стрес, також грає важливу роль. Негативні стилі копінг, такі як уникнення або агресивна реакція, можуть збільшити ризик вигорання.

Взаємодія з оточенням може суттєво впливати на розвиток емоційного вигорання. Вважаємо за необхідне визначити основні фактори: підтримка колег та керівництва, зокрема наявність соціальної підтримки на робочому місці може зменшити стрес і запобігти вигоранню. Команди, що функціонують як підтримуючі мережі, здатні краще справлятися зі стресовими ситуаціями. Організаційна культура: середовище, в якому працює людина, також грає важливу роль. Культура, що підтримує баланс між роботою та особистим життям, може суттєво зменшити ризик вигорання.

Емоційне вигорання має також фізіологічні прояви, що можуть бути наслідком тривалого стресу. Ці прояви включають: фізичне виснаження (хронічна втома, яка не минає після відпочинку, є одним із основних симптомів емоційного вигорання), соматичні симптоми (біль у спині, головний біль, проблеми з травленням можуть бути ознаками вигорання), порушення сну: Люди, які страждають від вигорання, часто стикаються з проблемами сну, такими як безсоння або надмірна сонливість.

Емоційне вигорання є серйозною проблемою для працівників підприємств харчової і переробної промисловості. Це явище не лише негативно впливає на особисте життя працівників, але й має значні економічні наслідки для підприємств. Дослідження показують, що причини емоційного вигорання можуть бути різноманітними і включати як індивідуальні, так і організаційні фактори.

Однією з основних причин емоційного вигорання є високі вимоги до продуктивності, які ставлять роботодавці перед своїми працівниками. На підприємствах харчової та переробної промисловості працівники часто стикаються



з необхідністю виконання великого обсягу роботи за короткий термін. Цей тиск може бути зумовлений різними факторами, такими як:

– сезонні коливання: виробництво харчових продуктів часто підпорядковане сезонним коливанням, що вимагає від працівників інтенсивної роботи в стислі терміни;

– конкуренція: висока конкуренція на ринку змушує підприємства працювати на межі своїх можливостей, що призводить до збільшення навантаження на працівників;

– вимоги якості: стандарти якості продукції в харчовій промисловості надзвичайно високі, і невиконання цих стандартів може мати серйозні наслідки, як для компанії, так і для споживачів.

Ці фактори створюють постійний стрес, який, якщо не буде належним чином управлятися, може призвести до емоційного вигорання.

Наступний важливий фактор – соціальна підтримка є важливим чинником, що впливає на рівень стресу і емоційного вигорання працівників. У середовищі підприємств харчової і переробної промисловості соціальна підтримка може бути недостатньою через недостатнє спілкування: у багатьох підприємствах існує проблема з недостатнім відкритим спілкуванням між працівниками та керівництвом. Це може призвести до відчуття ізоляції та безсилля в працівників. Відсутність командної роботи, зокрема виробничі процеси можуть бути організовані так, що працівники працюють у ізоляції, не маючи можливості отримати підтримку від колег. Негативна атмосфера: конфлікти між працівниками, відсутність довіри в команді можуть сприяти зростанню рівня стресу та вигорання. Важливо, щоб організації створювали позитивне середовище, де працівники могли б отримувати необхідну підтримку.

Треба наголосити на фінансових проблемах, що також можуть бути суттєвим чинником ризику емоційного вигорання. На підприємствах харчової і переробної промисловості часто спостерігається: низька заробітна плата, тому багато працівників отримують недостатню компенсацію за свою працю, що може викликати відчуття незадоволення і безвиході. А також нестабільність зайнятості – у періоди економічної невизначеності багато працівників стикаються із загрозою звільнення, що створює додатковий стрес. Ці економічні чинники можуть впливати на загальний моральний стан працівників і призводити до вигорання.

Також монотонність і рутинність завдань можуть суттєво вплинути на психологічний стан працівників. У харчовій і переробній промисловості працівники часто виконують однотипні дії протягом тривалого часу. Це може призводити до зниження мотивації: одноманітність завдань може викликати втому і зниження інтересу до роботи: психологічної втоми: постійна рутинна без можливості змінити обстановку або завдання може спричинити відчуття емоційного виснаження.

Організаційна культура на підприємствах харчової і переробної промисловості може мати як позитивний, так і негативний вплив на емоційний стан працівників. Негативна організаційна культура може включати ієрархічна структура: надмірна формалізація і жорстка ієрархія можуть призводити до відчуття безвладдя у працівників. Неадекватне визнання досягнень: працівники можуть відчувати себе непоміченими, якщо їхні зусилля не отримують належного визнання.

Всі ці аспекти можуть взаємодіяти, підвищуючи ризик емоційного вигорання. Емоційне вигорання на підприємствах харчової і переробної промисловості є складним і багатогранним явищем, яке викликане різноманітними факторами. Високі вимоги до продуктивності, відсутність соціальної підтримки, фінансові

труднощі, монотонність роботи та негативна організаційна культура є ключовими причинами, що сприяють виникненню цього стану. У цьому контексті важливо розглянути різноманітні стратегії і підходи до подолання емоційного вигорання, які можуть бути реалізовані на рівні організації, а також індивідуально.

Перед тим як перейти до методів подолання емоційного вигорання, важливо визначити, що ж таке емоційне вигорання. Це стан, який виникає внаслідок тривалого стресу на роботі, характеризується емоційним, фізичним і психічним виснаженням. Воно може проявлятися через зниження продуктивності, відчуття безпорадності, цинізму, а також фізичні симптоми, такі як головний біль чи проблеми з шлунком. Розуміння механізмів виникнення емоційного вигорання допомагає у розробці ефективних стратегій для його подолання.

Профілактика є важливим етапом у боротьбі з емоційним вигоранням. Вона передбачає впровадження різноманітних заходів на рівні підприємства, що допомагають знизити ризик виникнення цього стану. Основні заходи профілактики включають:

- організація робочого процесу, наприклад, розробка чітких планів роботи, зменшення наднормативного навантаження, забезпечення комфортних умов праці;
- гнучкий графік, що може допомогти працівникам краще балансувати між роботою та особистим життям, що знижує рівень стресу;
- навчання і розвиток, що забезпечить можливості для професійного зростання, навчання новим навичкам, що підвищує відчуття контролю над своєю кар'єрою.

Необхідно наголосити на забезпеченні психологічної підтримки працівників, як важливою складовою в боротьбі з емоційним вигоранням. Працівники повинні відчувати, що можуть звернутися за допомогою у разі потреби. Перерахуємо кілька основних компонентів психологічної підтримки: консультації та терапія, що полягає у забезпеченні доступу до фахівців, які можуть надати психологічну підтримку, допомогти в управлінні стресом і подоланні емоційного вигорання.

Створення груп підтримки на підприємствах, де працівники можуть обговорювати свої переживання, ділитися досвідом і отримувати підтримку від колег. Культура відкритості: сприяння культурі, де працівники можуть вільно висловлювати свої емоції та переживання без страху бути засудженими.

Ось кілька прикладів тренінгів, які допомагають у профілактиці та подоланні емоційного вигорання: тренінг з розвитку емоційної саморегуляції, тренінг з управління стресом і тайм-менеджменту, комунікативний тренінг та робота з конфліктами, тренінг з розвитку навичок самообслуговування та ресурсного підходу, тренінг з психологічної стійкості та інші. На нашу думку, більш доречно використовувати тренінг з психологічної стійкості, комплекс практичних заходів, спрямованих на формування навичок ефективного подолання стресових ситуацій, розвиток емоційної стійкості та впевненості у власних силах. Мета цього тренінгу – допомога працівникам у розвитку здатності протистояти негативним емоціям і зовнішнім чинникам, що можуть призвести до виснаження або емоційного вигорання. Так, практичні заняття з розвитку позитивного мислення допомагають знайти позитивні моменти навіть у складних ситуаціях. Запропонувати доречно використання щоденника досягнень завдання для ведення записів про щоденні успіхи і перемоги, навіть незначні. Це сприяє розвитку впевненості та бачення прогресу. Ще дієвою є робота з внутрішнім контролем, наприклад, модель «Коло впливу» – вправи на розділення ситуацій, що знаходяться під контролем (ті, на які учасники можуть вплинути), і поза ним (ті, на які не можуть).

Очікувані результати від тренінгу:

- підвищення стресостійкості та психологічної витривалості – працівники стають менш схильними до стресу і зможуть ефективніше реагувати на непередбачувані ситуації;

- зменшення тривожності та страхів – учасники тренінгу краще контролюватимуть свої емоції, що допоможе знизити рівень тривожності та уникати ситуацій емоційного вигорання;

- формування позитивного мислення – зросте рівень оптимізму, що сприяє більшій задоволеності від роботи та підвищенню професійної ефективності;

- поліпшення навичок самоконтролю і самоорганізації – розвинені навички допомагають більш ефективно управляти своїми емоціями та робочими обов'язками;

- зміцнення командного духу – учасники навчаться підтримувати один одного, що сприятиме створенню позитивного робочого середовища.

Такий тренінг можна проводити як окремий захід або у вигляді кількох сесій з регулярним моніторингом успіхів учасників, що дозволить на практиці закріпити навички для подолання професійного вигорання.

Один із важливих аспектів подолання емоційного вигорання також є навчання технікам управління. Працівники повинні мати знання про різні методи, що допоможуть їм справлятися зі стресовими ситуаціями. Основні техніки включають – методи релаксації: вправи на глибоке дихання, медитація та йога допомагають знизити рівень стресу і підвищити загальний рівень благополуччя; фізична активність: регулярні фізичні вправи, такі як біг, плавання або заняття спортом, сприяють вивільненню ендорфінів, що покращує настрій і знижує рівень стресу; творче самовираження: художні практики, музика або письмові вправи можуть слугувати виходом для емоцій, знижуючи рівень напруги.

Вважаємо, що обов'язково враховувати і таких фактор: баланс між роботою та особистим життям, адже важливо, щоб працівники змогли знайти баланс між робочими зобов'язаннями та особистим життям. Це може включати:

- час для відпочинку: Визначення чіткого часу для відпочинку та особистих справ, щоб уникнути перевтоми;

- відпустки: заохочення працівників використовувати свій відпустковий час для відновлення сил і емоційного стану;

- захоплення та інтереси: підтримка розвитку захоплень та інтересів, що не пов'язані з роботою, допомагає зберегти емоційний баланс.

Розвиток командної роботи є ключовим фактором успішності будь-якої організації, оскільки ефективні команди здатні досягати результатів швидше, якісніше та з меншими витратами ресурсів. В умовах підвищеного робочого навантаження та емоційного вигорання працівників, особливо у стресових галузях, як харчова чи переробна промисловість, командна робота стає інструментом, що підтримує працівників, забезпечуючи їм середовище підтримки та взаємодопомоги. Основні цілі розвитку командної роботи: зміцнення робочих взаємозв'язків – покращення комунікації між учасниками команди, що дозволяє зменшити непорозуміння та сприяє більш ефективному розподілу завдань. Формування єдиних цілей і цінностей – надання працівникам розуміння спільних цілей організації, їх місця у процесах та значущості внеску кожного.

Підвищення продуктивності та зниження стресу – завдяки підтримці один одного команда легше долає робочі виклики та розподіляє навантаження. Створення сприятливого клімату в колективі – зменшення конфліктів і напруги,

формування атмосфери довіри та взаємоповаги. Зниження ризиків емоційного вигорання – члени команди можуть підтримувати один одного у стресових ситуаціях, що полегшує робочий процес.

Командна робота є важливим елементом для зниження ризику емоційного вигорання. Підприємства можуть реалізувати стратегії, що сприяють розвитку командної роботи:

- тренінги з командної роботи: проведення навчальних програм, що допомагають працівникам розвивати навички ефективної комунікації та співпраці;
- спільні проекти: заохочення спільної роботи над проектами, що зміцнює командний дух і знижує відчуття ізоляції;
- командні заходи: організація неформальних зустрічей та заходів для зміцнення міжособистісних зв'язків у колективі.

Не менш актуальним аспектом є впровадження корпоративних ініціатив, що можуть зіграти важливу роль у подоланні емоційного вигорання на підприємствах: програми здоров'я, гнучкі умови праці, визнання досягнень. Корпоративні ініціативи, спрямовані на підтримку добробуту працівників, стають важливою складовою ефективного управління сучасною компанією. Окрім забезпечення комфорту, такі ініціативи сприяють зниженню рівня стресу, підвищенню мотивації та зменшенню рівня емоційного вигорання серед працівників. Для компаній у галузі харчової і переробної промисловості, де часто спостерігаються значні фізичні й емоційні навантаження, впровадження таких ініціатив має особливе значення.

Подолання емоційного вигорання фахівців підприємств харчової і переробної промисловості є важливим завданням, яке вимагає комплексного підходу. Поєднання профілактичних заходів, психологічної підтримки, технік управління стресом і розвитку командної роботи може суттєво знизити ризики, пов'язані з емоційним вигоранням. Реалізація цих стратегій не тільки покращує якість життя працівників, але й позитивно впливає на продуктивність підприємств, створюючи здорове та підтримуюче робоче середовище.

**Висновки.** Отже, емоційне вигорання є серйозною проблемою, що впливає на ефективність роботи фахівців підприємств харчової і переробної промисловості, створюючи негативні наслідки як для самих працівників, так і для організацій в цілому. У процесі аналізу цієї проблеми було виявлено кілька ключових аспектів, які підкреслюють важливість впровадження заходів для профілактики та подолання емоційного вигорання.

Емоційне вигорання, що виникає внаслідок тривалого стресу, монотонності роботи та високих вимог на підприємствах харчової і переробної промисловості, має зростаючу актуальність. Воно негативно впливає на здоров'я працівників, їх благополуччя та загальну продуктивність.

Впровадження профілактичних програм, які включають організацію робочого процесу, навчання, психологічну підтримку та розвиток командної роботи, є критично важливим для зниження ризиків емоційного вигорання. Корпоративні ініціативи, що сприяють створенню здорового робочого середовища, можуть стати основою для підвищення загального рівня задоволеності працівників. Навчання працівників методам управління стресом, таким як релаксація, фізична активність та психологічна саморегуляція, допомагає не лише подолати вже наявні симптоми вигорання, але й знизити ймовірність їх виникнення в майбутньому.

Створення культури відкритості, де працівники можуть ділитися своїми переживаннями та отримувати підтримку, є важливим чинником у запобіганні емоційному вигоранню. Групи підтримки та консультації можуть значно покращити

психоемоційний стан працівників. Важливим є систематичне оцінювання ефективності впроваджених заходів через опитування, аналіз продуктивності та збір зворотного зв'язку від працівників. Це дозволяє не лише вчасно виявляти проблеми, але й адаптувати програми до реальних потреб колективу.

Питання емоційного вигорання потребує подальшого вивчення, зокрема в контексті специфіки галузі харчової і переробної промисловості. Важливо дослідити, які інноваційні підходи можуть бути впроваджені для покращення психоемоційного клімату в колективах.

Таким чином, для ефективного подолання емоційного вигорання на підприємствах харчової і переробної промисловості важливо впроваджувати комплексний підхід, що включає профілактичні заходи, підтримку психологічного здоров'я працівників та створення сприятливого робочого середовища. Лише завдяки зусиллям, спрямованим на виявлення та усунення причин вигорання, можна забезпечити благополуччя працівників і підвищити загальну продуктивність підприємства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бурлачук, Л. Ф., & Морозова, М. О. *Психологічні аспекти професійного вигорання*. Київ: Либідь. 2019. 152 с.
2. Варнавська, І.В. Чинники профілактики синдрому емоційного вигорання у професійній діяльності педагогів. *Наука і техніка сьогодні* (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»), 2023. 13(27), 489-499.
3. Гудкова, Т. М. *Управління стресом та емоційним вигоранням у професійній діяльності*. Київ: ВД Академія. 2019. 144 с.
4. Корнеєва, М. Психологічна профілактика стресу та емоційного вигорання в умовах виробничого середовища. *Практична психологія*, 2020. 3, 31-37.
5. Савчук, А. С. *Психологія професійного вигорання*. Київ: Наукова думка. 2020. 180 с.

### REFERENCES:

1. Burlachuk, L. F., & Morozova, M. O. (2019). *Psychological aspects of professional burnout*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
2. Varnavska, I. V. (2023). Factors for preventing emotional burnout syndrome in the professional activities of educators. *Science and Technology Today (Series "Pedagogy," Series "Law," Series "Economics," Series "Physical and Mathematical Sciences," Series "Engineering")*, 13(27), 489-499. [in Ukrainian].
3. Hudkova, T. M. (2019). *Stress management and emotional burnout in professional activities*. Kyiv: VD Akademiya. [in Ukrainian].
4. Korneeva, M. (2020). Psychological prevention of stress and emotional burnout in the production environment. *Practical Psychology*, 3, 31-37. [in Ukrainian].
5. Savchuk, A. S. (2020). *Psychology of professional burnout*. Kyiv: Naukova Dumka. [in Ukrainian].

УДК 664.661.2:001.5:591.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.16>

## ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Вогнієнко Л. П.** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри харчових технологій

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0002-6381-6659

**Качур Г. М.** – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0009-9059-9495

У статті представлено глибокий аналіз можливості використання водоростей, таких як хлорела, спіруліна та ламінарія, як альтернативної сировини для харчової промисловості. Підкреслено, що ці водорості можуть стати ефективною заміною традиційним джерелам білка, оскільки вони мають значно вищу харчову цінність, містять багатий комплекс вітамінів (зокрема групи B, а також C та E), мінералів (кальцій, залізо, магній) та антиоксидантів. Це робить їх привабливим інгредієнтом для збагачення харчових продуктів, що сприяє підтримці здорового раціону. Завдяки високій концентрації білка, водорості можуть використовуватись у виробництві продуктів для людей, які потребують додаткового білкового підкріплення в раціоні, як-от спортсмени, вегани чи люди з обмеженнями у споживанні м'яса.

Дослідження також висвітлює можливість використання водоростей як натуральних барвників та підсилювачів смаку, що є важливим для створення екологічно безпечних продуктів. Наприклад, спіруліна додає насичений зелений колір кондитерським виробам, а ламінарія – присмний морський присмак. Така продукція не лише позитивно сприймається споживачами завдяки натуральним смаковим та кольорним характеристикам, але й сприяє популяризації здорового харчування без використання синтетичних добавок. Це відкриває можливості для широкого застосування водоростей у різних харчових продуктах, зокрема у виробництві напоїв, хлібобулочних виробів та супів.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що використання водоростей як альтернативної сировини для харчової промисловості є перспективним і важливим напрямком розвитку. Водорості сприяють удосконаленню асортименту продуктів, що відповідають вимогам сучасних споживачів щодо якості, безпеки та високої поживної цінності. Вони також є економічно вигідним і екологічно стійким джерелом білка, що забезпечує доступність харчової продукції для різних верств населення.

**Ключові слова:** водорості, альтернативна сировина, харчова промисловість, білки, вітаміни, натуральні барвники, екологічна стійкість, спіруліна, хлорела, ламінарія.

### **Vohnivenko L. P., Kachur H. M. Use of algae as an alternative raw material for the food industry**

The article presents an in-depth analysis of the possibility of using algae such as chlorella, spirulina and kelp as an alternative raw material for the food industry. It is emphasized that these algae can be an effective substitute for traditional protein sources, as they have a much higher nutritional value, contain a rich complex of vitamins (in particular, B, C and E), minerals (calcium, iron, magnesium) and antioxidants. This makes them an attractive ingredient for food fortification, which helps to maintain a healthy diet. Due to its high protein concentration, algae can be used in the production of products for people who need additional protein in their diet, such as athletes, vegans, or people with restrictions on meat consumption.

The study also highlights the potential for algae to be used as natural colorants and flavor enhancers, which is important for creating environmentally friendly products. For example, spirulina adds a rich green color to confectionery, and kelp adds a pleasant sea flavor. Such products are not only positively perceived by consumers due to their natural taste and color characteristics, but also contribute to the popularization of healthy eating without the use of synthetic additives. This opens up opportunities for the widespread use of algae in various food products, including beverages, bakery products, and soups.

*Thus, the results of the study confirm that the use of algae as an alternative raw material for the food industry is a promising and important area of development. Algae contribute to improving the range of products that meet the requirements of modern consumers in terms of quality, safety and high nutritional value. They are also an economically viable and environmentally sustainable source of protein, which ensures the availability of food products for different segments of the population.*

**Key words:** *algae, alternative raw materials, food industry, proteins, vitamins, natural dyes, environmental sustainability, spirulina, chlorella, kelp.*

**Вступ.** Сучасний світ стикається з новими викликами у забезпеченні збалансованого харчування, що є основою здоров'я населення. У зв'язку з цим харчова промисловість зіштовхується з необхідністю розробки продуктів, які б задовольняли не лише смакові уподобання споживачів, а й відповідали сучасним вимогам до якості, поживної цінності.

Споживачі дедалі більше надають перевагу продуктам з натуральним складом, без шкідливих добавок і з оптимальним вмістом поживних речовин.

**Актуальність теми.** Водорості мають унікальні поживні властивості, що робить їх особливо корисними для здоров'я людини. Вони багаті на білок, вітаміни (зокрема С, Е, групи В) та мінерали (кальцій, залізо, магній), а також антиоксиданти, які зміцнюють імунну систему та захищають організм від негативного впливу навколишнього середовища. У зв'язку зі зростаючим попитом на продукти для здорового харчування та популяризацією дієт з високим вмістом рослинних компонентів, водорості стають все більш популярним інгредієнтом у харчовій промисловості.

**Постановка проблеми.** Одна з основних проблем, з якою стикається сучасна харчова промисловість, полягає у забезпеченні населення продуктами, що поєднують високу харчову цінність. У зв'язку з цим постає необхідність пошуку альтернативних джерел білка, які б задовольняли потреби у харчових продуктах.

Наступною важливою проблемою є нестача вітамінів, мінералів та антиоксидантів у повсякденному раціоні багатьох людей, особливо у містах. Через обмежений доступ до свіжих і натуральних продуктів, таких як овочі та фрукти, часто виникає дефіцит необхідних мікроелементів, що призводить до погіршення загального стану здоров'я та зниження імунітету. Водорості, як-от хлорела, спіруліна та ламінарія, є багатими джерелами вітамінів (особливо групи В, а також С і Е), мінералів (кальцію, заліза, магнію) та антиоксидантів, які допомагають підтримувати нормальне функціонування організму. Включення водоростей у склад харчових продуктів дозволяє значно збагатити раціон, забезпечуючи організм необхідними поживними речовинами без потреби в додаткових вітамінних добавках.

Крім того, сьогодні існує проблема надмірного використання синтетичних барвників та підсилювачів смаку у харчових продуктах, які можуть мати негативний вплив на здоров'я. Багато виробників додають у продукцію штучні компоненти для поліпшення зовнішнього вигляду та смакових характеристик, що часто стає причиною алергічних реакцій та інших небажаних наслідків. Водорості, завдяки своїм природним барвним і смаковим властивостям, можуть стати екологічною альтернативою штучним барвникам та підсилювачам смаку. Наприклад, спіруліна має яскравий зелений колір, що може використовуватися як натуральний барвник у кондитерських виробках, а ламінарія здатна надавати продуктам морський присмак, привабливий для багатьох споживачів.

Одним з ключових викликів є також економічна доступність харчових продуктів, збагачених білком. Традиційні джерела білка, такі як м'ясо та молочні продукти, часто

є дорогими через високу собівартість виробництва. Це робить їх недоступними для багатьох верств населення, особливо в країнах, що розвиваються. Водорості є економічно вигідним джерелом білка, оскільки вони мають високі показники продуктивності і не потребують великих витрат для культивування. Їх використання у складі продуктів може забезпечити доступність білкових продуктів для ширшого кола споживачів, зменшуючи при цьому витрати на виробництво харчової продукції.

Однак для успішного впровадження водоростей у харчову промисловість необхідно провести додаткові дослідження щодо їхньої сумісності з іншими інгредієнтами, впливу на смакові властивості продуктів та ефективності використання у різних типах продукції.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є вивчення потенціалу використання водоростей, таких як хлорела, спіруліна та ламінарія, як альтернативної сировини для виробництва харчових продуктів, що задовольняють вимоги сучасного споживача до здорового харчування, та економічної доступності. Основний акцент у дослідженні робиться на аналізі поживних властивостей водоростей, їхньої здатності замінювати або доповнювати білкові компоненти тваринного походження та можливості включення цих інгредієнтів до складу широкого асортименту продуктів харчування. Важливою складовою мети є оцінка впливу водоростей на органолептичні властивості продуктів, що дозволить зрозуміти, як вони впливають на смакові якості та загальну привабливість продукції для споживачів.

Ще одним важливим завданням дослідження є оцінка економічної ефективності використання водоростей у харчовій промисловості. Оскільки водорості є відносно невибагливими до умов вирощування та швидко ростуть, вони можуть слугувати дешевим і стійким джерелом білка, вітамінів і мінералів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом значна кількість наукових досліджень присвячена вивченню водоростей як джерела поживних речовин, а також їхньої ролі в сучасному здоровому харчуванні. Наприклад, дослідження Іванова І. П. та Коваленка О. М. показали, що спіруліна та хлорела містять близько 60–70% білка в сухій масі, що робить їх унікальним джерелом рослинного білка, здатного задовольнити потреби організму в усіх незамінних амінокислотах. Це важливо, оскільки багато рослинних білків не містять повного амінокислотного складу, необхідного для збалансованого харчування, тоді як білок водоростей має всі важливі амінокислоти. Такі дані свідчать про значний потенціал водоростей як альтернативного джерела білка у харчовій промисловості [1].

Петров В. С. у своїй роботі досліджував антиоксидантні властивості водоростей, зокрема їх здатність захищати організм від оксидативного стресу, який спричиняє різноманітні хронічні захворювання, включаючи серцево-судинні хвороби та рак. Антиоксиданти, що містяться в водоростях, такі як сульфорофан та фікоціанін, здатні нейтралізувати вільні радикали, запобігаючи їхньому руйнівному впливу на клітини організму. Водорості також містять вітаміни С і Е, які є потужними антиоксидантами, що зміцнюють імунну систему, підвищуючи її здатність боротися із захворюваннями [2].

Дослідженням хімічного складу водоростей займаються і зарубіжні вчені. Наприклад, Робертсон Е. і Хейс Дж. проаналізували мінеральний склад хлорели та ламінарії, відзначаючи високий вміст таких елементів, як залізо, кальцій та магній. Їхнє дослідження показало, що водорості можуть слугувати важливим джерелом мінералів, що часто дефіцитні в повсякденному раціоні людей. Особливо це стосується заліза, яке є необхідним для синтезу гемоглобіну, а також кальцію та магнію, що відповідають за підтримку здоров'я кісткової системи [3].



Дослідження Дудкіна М. С. і Щелкунова Л. Ф. показали, що спіруліна здатна надавати продуктам насичений зелений колір завдяки вмісту хлорофілу, що робить її природним барвником. Це відкриває можливість зменшення використання штучних барвників, які можуть негативно впливати на здоров'я споживачів. Водорості як натуральні барвники стали особливо популярними в кондитерській та хлібопекарській галузях, де вони не лише надають продуктам привабливий вигляд, але й забезпечують додаткову харчову цінність [4].

Важливість водоростей у виробництві спеціалізованих продуктів для веганів та вегетаріанців також була досліджена вітчизняними і зарубіжними вченими. Оскільки білки водоростей мають повний амінокислотний склад, вони є оптимальним інгредієнтом для заміщення тваринних білків у дієті. Дослідження Коваленка О. М. показали, що продукти, збагачені водоростями, забезпечують організм усіма необхідними поживними речовинами, при цьому знижуючи споживання насичених жирів і холестерину, що важливо для профілактики серцево-судинних захворювань [5].

Дослідження Карпенко П. О. стосувалося також впливу водоростей на травну систему. Водорості, як відомо, містять значну кількість клітковини, що сприяє нормалізації роботи шлунково-кишкового тракту та підтримці здорової мікрофлори кишечника. Клітковина допомагає поліпшити перистальтику кишечника, знижує ризик розвитку закріпів і підтримує баланс корисних бактерій, що важливо для загального здоров'я. Це особливо актуально в умовах сучасного способу життя, коли багато людей ведуть малорухливий спосіб життя та не отримують достатньо клітковини з їжею [6].

**Виклад основного матеріалу.** Спіруліна, хлорела та ламінарія є найпоширенішими видами водоростей, що використовуються у харчовій промисловості завдяки їхній високій поживній цінності. У складі сухої маси водоростей білок може становити від 60% до 70%, що робить їх конкурентоспроможними навіть із такими традиційними джерелами білка, як соя та горіхи. Особливо важливо, що білок водоростей є повноцінним, містить усі незамінні амінокислоти, необхідні для організму людини. Це робить водорості перспективною сировиною для виробництва продуктів, орієнтованих на вегетаріанців і веганів, а також для тих, хто шукає альтернативи тваринному білку [9].

Окрім білка, водорості є важливим джерелом вітамінів та мінералів. Вміст кальцію, заліза, магнію та інших мікроелементів у водоростях значно вищий, ніж у багатьох інших рослинних продуктах. Зокрема, залізо, що міститься в хлорелі та спіруліні, легко засвоюється і може бути корисним для людей, які потребують підвищеного споживання цього елемента, зокрема вегетаріанців, вагітних жінок та спортсменів. Кальцій та магній, присутні в ламінарії, є важливими для зміцнення кісток, підтримання нормальної роботи нервової системи та серцево-судинної системи, що робить водорості цінним компонентом здорового харчування.

Таблиця 1

Склад поживних речовин, що містять водорості

Поживні компоненти	Спіруліна	Хлорела	Ламінарія	Соя	Горіхи
Білок (%)	60–70	55–60	15–20	36	15–25
Жири (%)	6–7	8–10	1–3	20	50–70
Кальцій (мг)	120	95	60	277	132
Залізо (мг)	28	21	15	15.7	2.7
Вітамін С (мг)	10	8	6	0	1.3
Йод (мкг)	30	20	400	2	4

Водорості також відзначаються високим вмістом антиоксидантів, таких як вітаміни С і Е, а також фітохімічних сполук, таких як сульфорафан та фікоціанін. Антиоксиданти захищають клітини від оксидативного стресу та нейтралізують вільні радикали, що знижує ризик розвитку серцево-судинних захворювань, раку та інших хронічних захворювань. Важливим аспектом є те, що природні антиоксиданти з водоростей краще засвоюються організмом, ніж синтетичні, що робить водорості незамінним компонентом для виробництва функціональних продуктів харчування, орієнтованих на профілактику захворювань та підтримку здоров'я [9].

Завдяки високій концентрації хлорофілу, спіруліна має природний зелений колір, що дозволяє використовувати її як натуральний барвник у кондитерській і хлібопекарській промисловості. Це є важливим фактором у створенні екологічно чистих продуктів, оскільки дозволяє уникнути використання штучних барвників, які можуть мати негативний вплив на організм. Ламінарія має природний морський присмак і аромат, що дозволяє використовувати її для надання унікальних смакових властивостей продуктам, орієнтованим на споживачів, які шукають нові кулінарні враження.

Органолептичні дослідження підтверджують, що продукти з додаванням водоростей сприймаються споживачами позитивно, особливо завдяки насиченому смаку та привабливому зовнішньому вигляду. Споживачі надають перевагу продуктам з натуральними інгредієнтами, що відповідає загальним тенденціям здорового харчування. Водорості можуть застосовуватися у широкому асортименті продуктів – від напоїв і супів до снєків і випічки. Наприклад, ламінарія може надавати унікального смаку морським стравам, а спіруліна додає кольору та поживних властивостей фруктовим сокам і смузі.

Економічна ефективність водоростей також є важливою перевагою, що обумовлює їх застосування у харчовій промисловості. Завдяки швидкому зростанню та низьким витратам на вирощування, водорості є доступним джерелом білка і поживних речовин. Це дозволяє виробникам знизити собівартість продуктів, що є особливо важливим на тлі глобальної продовольчої кризи. Водорості можуть використовуватися як у промислових масштабах для виробництва харчових добавок, так і у складі готових продуктів.

Клітковина водоростей є важливим компонентом, що сприяє нормалізації роботи шлунково-кишкового тракту. Вона покращує перистальтику кишечника та сприяє підтримці здорової мікрофлори, що є важливим для загального стану здоров'я. Умови сучасного життя, що супроводжуються стресом та неправильним харчуванням, часто призводять до порушень травлення, і продукти з додаванням водоростей можуть стати ефективним рішенням для збереження здоров'я шлунково-кишкового тракту [9].

Рисунок 1 демонструє порівняння білкової цінності водоростей порівняно з традиційними джерелами білка, такими як соя та горіхи. Згідно з даними, водорості, такі як спіруліна та хлорела, мають рівень білка, що може конкурувати з найкращими рослинними джерелами, але з меншою екологічною вартістю.

Враховуючи всі переваги, що надають водорості, вони можуть бути використані у різних сегментах харчової промисловості. Це включає не лише виробництво харчових добавок, а й створення спеціалізованих продуктів для спортсменів, людей похилого віку, а також для людей з обмеженнями у харчуванні.

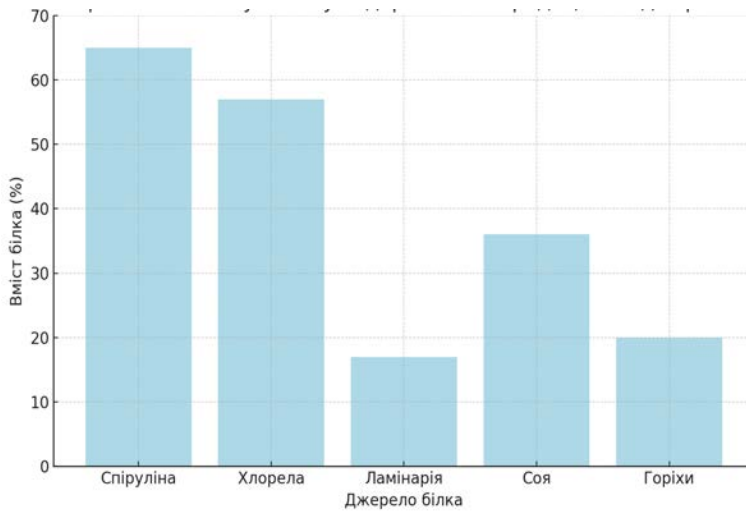


Рис. 1. Порівняння білкової цінності водоростей та інших джерел

**Висновки.** Застосування водоростей у харчовій промисловості відкриває широкі можливості для створення продуктів з високою поживною цінністю, що відповідають вимогам сучасних споживачів, орієнтованих на здорове та збалансоване харчування. Водорості, такі як спіруліна, хлорела та ламінарія, відзначаються високим вмістом білка, вітамінів, мінералів і антиоксидантів, що робить їх незамінним компонентом у раціоні людини.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Іванов І. П., Коваленко О. М. Харчова цінність спіруліни та хлорели. Харчова наука і технологія. 2018. № 8. С. 45–50.
2. Петров В. С. Антиоксидантні властивості водоростей. Харчова промисловість. 2015. № 6. С. 15–20.
3. Робертсон Е., Хейс Дж. Мінеральний склад хлорели та ламінарії та їх потенціал для харчової промисловості. Journal of Marine Algae Research. 2019. Т. 12, № 3. С. 67–74.
4. Дудкін М. С., Щелкунов Л. Ф. Використання водоростей як натурального барвника в кондитерській промисловості. Харчова промисловість. 2010. № 3. С. 36–38.
5. Карпов П. О. Переваги клітковини з водоростей для здоров'я травної системи. Journal of Nutritional Biochemistry. 2020. Т. 45. С. 101–110.
6. Хейс Дж., Робертсон Е. Переваги стійкого розвитку у використанні водоростей як альтернативного джерела білка. Environmental Impact in Food Production. 2017. Т. 18, № 2. С. 34–42.
7. Браун Л., Морган К. Функціональні продукти на основі водоростей: Інновації та потенціал ринку. Journal of Food Innovation. 2019. Т. 9, № 1. С. 23–32.
8. Червоні водорості як потенційне джерело альтернативного білка. WellgreenXA. URL : <https://ua.wellgreenxa.com/info/red-algae-a-potential-source-of-alternative-75180411.html> (дата звернення: 13 листопада 2024).
9. Ресурсоощадні технології у харчовій промисловості. URL : <file:///C:/Users/anast/Downloads/Resursooshchadni%20tehnologii%20u%20harchoviy%20promyslovosti.pdf> (дата звернення: 13 листопада 2024).

10. Червоні водорості: потенційне джерело альтернативного білка у харчовій промисловості. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». URL : <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/278626> (дата звернення: 13 листопада 2024).

#### REFERENCES:

1. Ivanov I. P., Kovalenko O. M. (2018) Kharchova tsinnist spiruliny ta khlorely [Nutritional value of spirulina and chlorella]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia [Food Science and Technology]*. (electronic journal), No. 8, pp. 45-50.
2. Petrov V. S. (2015) Antyoksydantni vlastyvoli vodorostei [Antioxidant properties of algae]. *Kharchova promyslovist [Food Industry]* (electronic journal), No. 6, pp. 15-20.
3. Robertson E., Hayes J. (2019) Mineralnyi sklad khlorely ta laminarii ta yikh potential dlia kharchovoi promyslovosti [Mineral composition of chlorella and kelp and their potential for the food industry]. *Journal of Marine Algae Research* (electronic journal), vol. 12, No.3, pp. 67-74.
4. Dudkin M. S., Shchelkunov L. F. (2010) Vykorystannia vodorostei yak naturalnoho barvnyka v kondyterskii promyslovosti [The use of algae as a natural colorant in the confectionery industry]. *Kharchova promyslovist [Food Industry]* (electronic journal), No. 3, pp. 36-38.
5. Karpov P.O. (2020) Perevahy klitkovyny z vodorostei dlia zdorov'ia travnoi systemy [Benefits of fiber from algae for the health of the digestive system]. *Journal of Nutritional Biochemistry* (electronic journal), vol. 45, pp. 101-110.
6. Hayes J., Robertson E. (2017) Perevahy stiikoho rozvytku u vykorystanni vodorostei yak alternatyvnoho dzherela bilka [Sustainability benefits of using algae as an alternative protein source]. *Environmental Impact in Food Production* (electronic journal), vol. 18, No. 2, pp. 34-42.
7. Brown L., Morgan K. (2019) Funktsionalni produkty na osnovi vodorostei: Innovatsii ta potential rynku [Functional foods based on algae: Innovations and market potential]. *Journal of Food Innovation* (electronic journal), vol. 9, No. 1, pp. 23-32.
8. Chervoni vodorosti yak potentsiine dzherelo alternatyvnoho bilka [Red algae as a potential source of alternative protein]. *WellgreenXA*. Available at : <https://ua.wellgreenxa.com/info/red-algae-a-potential-source-of-alternative-75180411.html> (accessed on November 13, 2024).
9. Resursooshchadni tekhnolohii u kharchovii promyslovosti [Resource-saving technologies in the food industry]. Available at : <file:///C:/Users/anast/Downloads/Resursooshchadni%20tehnologii%20u%20harchoviy%20promyslovosti.pdf> (accessed on November 13, 2024).
10. Chervoni vodorosti: potentsiine dzherelo alternatyvnoho bilka u kharchovii promyslovosti [Red algae: a potential source of alternative protein in the food industry]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» [Bulletin of the National Technical University «KhPI»]*. Available at : (accessed on November 13, 2024).

УДК 664.658.34

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.17>

## БІОТЕХНОЛОГІЇ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ: ІННОВАЦІЇ ТА МОЖЛИВОСТІ

**Вогнієнко Л. П.** – кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри харчових технологій

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0002-6381-6659

**Літеїнова К. С.** – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0004-9239-7953

У статті розглянуті актуальні питання біотехнологій в сучасній харчовій промисловості, їх розвиток та роль у виготовленні харчової продукції. Виробництво харчових продуктів і напоїв засноване на переробці сировини, в основному сільським господарством.

Розвиток біотехнологій значно впливає на харчову промисловість, допомагаючи створювати більш якісні та стійкі продукти. Ці інновації охоплюють виробництво харчових продуктів, поліпшення якості продукції та впровадження екологічних рішень, які важливі в умовах зростання населення і потреб у продовольстві. Біотехнології трансформують харчову промисловість, пропонуючи інноваційні рішення для створення якісних, екологічних і безпечних продуктів. Основні напрямки біотехнологій включають в себе: альтернативні джерела білка (рослинні аналоги м'яса та культивоване м'ясо вирішують проблему дефіциту білка, змінюють екологічний вплив і забезпечують етичне споживання), ферментацію (використання пробіотиків для підтримки здоров'я та створення натуральних консервантів для подовження терміну придатності), екологічна стійкість (переробка харчових відходів у корисні продукти та зниження вуглецевого сліду за допомогою біопакування), ГМО та збагачені продукти (генетично модифіковані культури підвищують врожайність і харчову цінність, а збагачені продукти допомагають боротися з дефіцитом поживних речовин), майбутні технології (персоналізоване харчування на основі ДНК та 3D-друк їжі для створення унікальних продуктів).

У статті розглянуто, як біотехнології змінюють харчову промисловість, які інновації з'являються на ринку та які можливості для розвитку галузі вони відкривають.

Основною задачею є ознайомлення з перспективами сучасних біотехнологій, їх можливим використанням та популяризації у населення. Також, розгляд переваг та недоліків у використанні таких інноваційних технологіях виробництва харчової продукції.

**Ключові слова:** біотехнологія, харчова продукція, виробництво, сировина, інновації, екологічні рішення, якість продукту.

### **Vognivenko L. P., Litynova K. S. Biotechnology in the food industry: innovations and opportunities**

The article discusses current issues of biotechnologies in the modern food industry, their development and role in the production of food products. The production of food products and beverages is based on the processing of raw materials, mainly by agriculture.

The development of biotechnology has a significant impact on the food industry, helping to create higher quality and sustainable products. These innovations include food production, product quality improvement and the implementation of environmental solutions, which are important in the face of population growth and food needs. Biotechnologies are transforming the food industry, offering innovative solutions for creating high-quality, ecological and safe products. The main areas of biotechnology include: alternative sources of protein (vegetable meat analogues and cultured meat solve the problem of protein deficiency, reduce environmental impact and ensure ethical consumption), fermentation (use of probiotics to maintain health and create natural preservatives to extend expiration date), environmental sustainability (recycling food waste into useful products and reducing the carbon footprint with bio-packaging), GMOs and enriched foods (genetically modified crops increase yield and nutritional value, and enriched foods help fight nutrient deficiencies), future technologies (personalized nutrition based on DNA and 3D printing of food to create unique products).

*The article examines how biotechnology changes the food industry, what innovations appear on the market and what opportunities they open for the development of the industry.*

*The main task is to get acquainted with the prospects of modern biotechnologies, their possible use and popularization among the population. Also, consideration of the advantages and disadvantages of using such innovative technologies for the production of food products.*

**Key words:** *biotechnology, food products, production, raw materials, innovations, environmental solutions, product quality.*

**Вступ.** Біотехнології в харчовій промисловості – це область, яка за останні кілька десятиліть стала однією з найбільш динамічних та інноваційних. Розвиток біотехнологічних процесів дозволяє значно підвищити ефективність виробництва продуктів харчування, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, а також забезпечити високий рівень безпеки та якості продукції. У контексті сучасних глобальних викликів, таких як зростання популяції, зміна клімату, обмежені ресурси і зростаючі вимоги до здоров'я і харчових стандартів, біотехнології відкривають нові можливості для сталого розвитку харчової промисловості.

Ця галузь охоплює широкий спектр технологій, включаючи генетичну модифікацію організмів, використання мікроорганізмів для ферментації, розробку функціональних продуктів з покращеними поживними властивостями, а також інноваційні методи переробки харчових відходів. Водночас біотехнології дозволяють створювати нові продукти, що не лише задовольняють базові потреби споживачів, але й підтримують їх здоров'я та добробут.

Проте, разом із безліччю можливостей, впровадження біотехнологій у харчову промисловість стикається з певними викликами, серед яких – етичні питання, необхідність вдосконалення нормативно-правової бази та підвищення довіри споживачів до нових продуктів.

Метою цієї статті є розгляд основних інновацій, які виникають завдяки застосуванню біотехнологій у харчовій промисловості, а також аналіз їхніх можливостей для майбутнього розвитку галузі, зокрема в контексті української економіки.

**Актуальність теми.** Біотехнології в харчовій промисловості є надзвичайно актуальною темою в сучасних умовах, оскільки вона відкриває нові перспективи для забезпечення стійкого розвитку та підвищення якості продуктів. Сучасні біотехнологічні інновації дозволяють не лише розробляти безпечніші й корисніші харчові продукти, а й знаходити нові способи виробництва, що зменшують негативний вплив на довкілля. Це особливо важливо в умовах зростання численності населення, змін клімату та зменшення природних ресурсів.

Наприклад, використання ферментації, мікроорганізмів, та генетично модифікованих організмів сприяє розвитку функціональних харчових продуктів і біоактивних добавок. Крім того, біотехнології дозволяють виробляти альтернативні джерела білка, такі як штучне м'ясо, яке допомагає зменшити навантаження на тваринництво і забезпечує нові джерела харчування. Інновації у галузі також дозволяють вдосконалити упаковку та збільшити терміни зберігання продуктів, що значно скорочує харчові відходи.

Завдяки розвитку біотехнологій харчова промисловість може досягти нових рівнів ефективності, якості й сталого розвитку, що робить цю тему надзвичайно перспективною й важливою для сучасного суспільства.

**Постановка проблеми.** Проблема використання біотехнологій у харчовій промисловості пов'язана з необхідністю знаходження ефективних та стійких рішень для задоволення глобальних потреб в якісній їжі.

Біотехнології пропонують потенційні рішення для кожної з цих проблем, надаючи можливість створювати більш екологічно чисті, безпечні та ресурсозберігаючі

способи виробництва харчових продуктів. Проте, на шляху їхнього впровадження є значні виклики: висока вартість досліджень і розробок, регуляторні обмеження та необхідність суспільного прийняття біотехнологічних продуктів.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є аналіз та оцінка ролі біотехнологій у харчовій промисловості, а також визначення їхнього потенціалу для вирішення сучасних проблем, пов'язаних із виробництвом, якістю та безпекою харчових продуктів. Дослідження також спрямоване на вивчення інноваційних біотехнологічних рішень, які можуть сприяти сталому розвитку харчової промисловості, зокрема через зниження екологічного навантаження, збереження природних ресурсів і створення нових джерел харчування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останні дослідження в галузі біотехнологій у харчовій промисловості фокусуються на створенні альтернативних білків (штучне м'ясо, продукти з комах і рослин), використанні ферментації для функціональних продуктів, генетичному редагуванні (CRISPR) для покращення культур, розробці біопакування для зменшення пластикових відходів та застосуванні нанотехнологій для збереження свіжості. Ці інновації мають великий потенціал для екологічного та ефективного виробництва, проте потребують подальшого дослідження для зниження ризиків та розробки відповідних регуляцій.

Науковці Л. В. Баль-Прилипка, М. В. Патики, Б. І. Леонова, Е. Р. Старкова, А. І. Брона проводили дослідження напрямів, досягнень та перспектив біотехнологій у харчовій промисловості. В своїй роботі вони зазначили що застосування біотехнологій та генної інженерії призводить до суттєвих інновацій у харчовій промисловості, зокрема, до підвищення якості та безпечності харчових продуктів [1].

І. В. Кірипичов, М. І. Конопля та С. В. Петренко прийшли до багатьох висновків, одним з яких є те що у порівнянні з хімічними технологіями біотехнології мають більшість переваг. Наприклад, можливість отримання специфічних та унікальних природних речовин, проведення біотехнологічних процесів при порівняно невисоких температурах і тиску, висока швидкість росту мікроорганізмів, яка багато разів перевищує швидкість росту тварин і рослин, а також, те що як сировину в процесах біотехнології можна використовувати дешеві відходи сільського господарства та промисловості [2].

О. І. Юлевич, С. І. Ковтун, М. І. Гиль дослідили всі можливі ризики виготовлення продукції за допомогою біотехнологій і провели дослідження в області промислової біотехнології зазначивши її величезний потенціал [3].

Також, серед останніх досліджень і публікацій щодо застосування біотехнологій у харчовій промисловості є роботи що свідчать про інтенсивний розвиток цієї галузі, спрямований на створення нових технологій для безпечного, ефективного та сталого виробництва харчових продуктів.

Загалом, останні дослідження та публікації демонструють високий потенціал біотехнологій для трансформації харчової промисловості. Водночас, дослідники звертають увагу на необхідність подальшого вивчення екологічних, соціальних та економічних наслідків цих технологій, а також розробку чітких регуляцій, що забезпечать безпечне та етичне впровадження інновацій.

У своєму підручнику С. А. Курта виділив два найбільш успішні взаємозалежні напрямки розвитку біотехнології:

*Перший:* на зміну традиційним способам виробництва їжі поступово придуть біореактори, у яких будуть рости клітини тварин і рослин або ж мікроорганізми. Справа в тому, що вихід продукції при використанні ферментів або біореакторів може бути істотно вище, ніж у сільському господарстві: процеси, що йдуть у них,

набагато більш інтенсивні. Розвитку цього напрямку сприяє й всеї зростаюча конкуренція за наявні земельні ресурси.

*Другий:* альтернативна технологія буде ставати усе більше продуктивною завдяки використанню методів генетичної інженерії, які дозволяють одержати поліпшені лінії клітин і штамів мікроорганізмів [4].

**Виклад основного матеріалу.** Біотехнології є рушієм змін у багатьох галузях, і харчова промисловість не є винятком. Сучасні інновації у цій сфері відкривають нові горизонти для створення якісних, безпечних та екологічно чистих продуктів. Ось ключові напрямки та можливості, які вони пропонують:

### 1. Альтернативні джерела білка

*Рослинні аналоги м'яса.* Біотехнології дозволяють створювати продукти, які за смаком і текстурою нагадують м'ясо, використовуючи бобові, горох, сою чи інші рослинні компоненти. На сьогоднішній день вживання населенням білка є дефіцитним як в кількісному, так і в якісному відношенні. Серед можливих шляхів вирішення цієї проблеми головне і вирішальне місце належить залученню резерву білків рослинного походження. Нестачу білка в раціоні можливо ліквідувати за рахунок використання нетрадиційних джерел рослинного походження. При впровадженні нового виду білкових продуктів харчування, крім харчової та біологічної цінності, необхідно оцінювати їх якість з точки зору технологічних показників та фізико-хімічних властивостей, які мають дуже велике значення. За останні роки бобові стали збалансованим джерелом живильних речовин для харчування та корму. Нові сорти, так і як польовий горох, звичайна квасоля та сочевиця все більше споживають у всьому світі. Ці культури дають перспективну альтернативу новим продуктам харчування та кормових продуктів з високою комерційною цінністю.

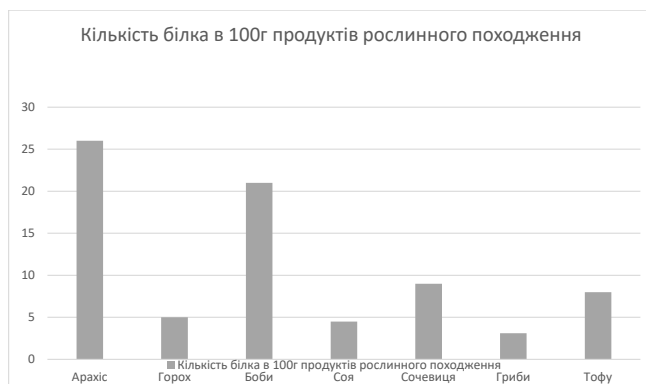


Рис. 1. Кількість білка в 100 г продуктів рослинного походження

*Культивоване м'ясо.* Завдяки клітинному культивуванню можливе виробництво м'яса без забою тварин. Це не лише зменшує екологічний вплив, але й вирішує етичні питання. Культивоване м'ясо, також відоме як лабораторне або клітинне м'ясо, – це революційний продукт, який створюється шляхом вирощування тваринних клітин у контрольованих умовах без потреби у забої тварин. Ця технологія має значний потенціал для зміни харчової індустрії.[5].

### 2. Ферментація для здоров'я та смаку

**Функціональні продукти.** Використання пробіотиків і ферментів допомагає створювати йогурти, сири та напої, які підтримують здоров'я шлунково-кишкового тракту.



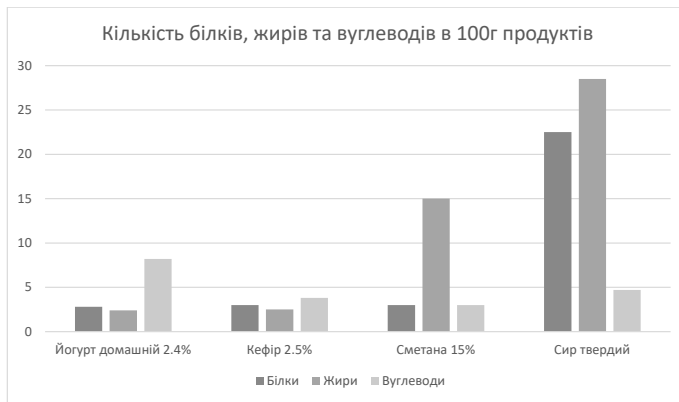


Рис. 2. Кількість білків, жирів і вуглеводів у 100 г продуктів

**Натуральні консерванти.** Біотехнології сприяють розробці ферментів та антибактеріальних сполук, які подовжують термін зберігання продуктів.

*Натуральні консерванти* – це речовини, які подовжують термін придатності харчових продуктів, запобігаючи росту мікроорганізмів або окисленню, при цьому залишаючись безпечними для здоров'я людини. На відміну від синтетичних консервантів, вони мають природне походження, що робить їх особливо привабливими для сучасного ринку.

До натуральних консервантів відносяться: органічні кислоти (оцтова, молочна і лимонна кислоти), ефірні масла (олія черевцю, розмарину, лаванди, масло чайного дерева), природні антимікробні білки (нізін, лізоцим), спеції та екстракти (куркума, часник і цибуля, перець і гвоздика), вітаміни (вітамін С, вітамін Е).

### 3. Екологічна стійкість

**Переробка харчових відходів.** Інноваційні процеси дозволяють використовувати залишки їжі для виробництва біопалива або кормів для тварин.

Переробка харчових відходів – це ключовий аспект сучасного підходу до сталого розвитку. Щорічно у світі утворюється понад 1,3 мільярда тонн харчових відходів, що не лише створює екологічні проблеми, а й втрачає цінні ресурси. Інноваційні технології дають змогу перетворювати ці відходи на корисні продукти та мінімізувати їх вплив на довкілля.

**Зниження вуглецевого сліду.** Застосування біотехнологічних процесів, таких як ферментація чи біопакування, допомагає зменшити негативний вплив на довкілля. Зниження вуглецевого сліду – це не лише виклик, а й можливість для глобального співробітництва та розвитку. Поєднання індивідуальних зусиль, державної політики та інновацій допоможе забезпечити стале майбутнє для наступних поколінь.

### 4. Генетично модифіковані організми (ГМО)

**Покращені культури.** ГМО дозволяють отримувати врожаї, стійкі до шкідників, посухи та хвороб.

*Покращені культури* – це рослини, які були генетично модифіковані або селекційно вдосконалені для досягнення кращих характеристик. Їх впровадження спрямоване на підвищення врожайності, стійкості до хвороб і шкідників, адаптації до кліматичних змін, а також поліпшення харчової цінності.

**Збагачені продукти.** Наприклад, «золотий рис» – збагачений вітаміном А для боротьби з дефіцитом у раціонах. Збагачені продукти – це харчові продукти, до яких цілеспрямовано додають вітаміни, мінерали чи інші корисні речовини з метою поліпшення їхньої харчової цінності. Вони допомагають боротися з дефіцитом поживних речовин у раціонах населення та сприяють зміцненню здоров'я [6].

### 5. Майбутні перспективи

**Персоналізоване харчування.** Завдяки аналізу ДНК можна створювати індивідуальні дієти, які враховують особливості метаболізму кожної людини.

*Персоналізоване харчування* – це підхід, що базується на адаптації раціону до індивідуальних особливостей людини, таких як генетика, спосіб життя, рівень фізичної активності, стан здоров'я та навіть мікробіом. Це один із провідних трендів у сфері здорового способу життя та харчування.

**3D-друк їжі.** Біотехнології в комбінації з інженерією дозволяють створювати їжу з унікальними характеристиками.

*3D-друк їжі* – це революційна технологія, яка використовує тривимірні принтери для створення харчових продуктів із харчових інгредієнтів. Ця методика поєднує точність, творчий підхід і можливість адаптувати їжу до індивідуальних потреб споживача.

**Висновки.** Біотехнології в харчовій промисловості є невід'ємною частиною інноваційного розвитку, що здатен трансформувати підхід до виробництва продуктів, їхнього збереження та споживання. Вони не лише сприяють задоволенню потреб сучасного ринку, але й формують стійке майбутнє для всього людства. Завдяки біотехнологіям з'являються інноваційні рішення для боротьби з голодом, дефіцитом ресурсів і впливом на навколишнє середовище.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Баль-Прилипко Л.В., Патица М.В., Леонова Б.І., Старкова Е.Р., Брона А.І. *Напрями, досягнення та перспективи біотехнології у харчовій промисловості*. Харчова промисловість. 2016. 99-101.
2. Кіричюв І.В., Конопля М.І. та Петренко С.В. *Основи Біотехнології*. Харчова промисловість. 2011. 47-50.
3. Юлевич О.І., Ковтун С.І., Гиль М.І. *Біотехнологія*. Наукові праці. 2012. 22-23, 28-30.
4. Курта С.А. *Біотехнології харчових продуктів*. Харчова промисловість. 2020. 13-17, 34.
5. Бондар І.В., Гуляев В.М. *Промислова мікробіологія. Харчова і агробіотехнологія*. Харчова наука і технологія. 2004. 5, 26.
6. Зінченко М.Г. *Біохімічні і мікробіологічні основи харчової та бродильної технології*. Харчова наука і технологія. 2009. 5-7.

### REFERENCES:

1. Bal-Prylypko L.V., Palyka M.V., Leonova B.I., Starkova E.R., Brona A.I. (2016) *Directions, achievements and prospects of biotechnology in the food industry*. Food industry. 99-101.
2. Kirychev I.V., Konoplia M.I. and Petrenko S.V. (2011). *Basics of Biotechnology*. Food industry. 47-50.
3. Yulevich O.I., Kovtun S.I., Gil M.I. (2012). *Biotechnology*. Scientific works. 22-23, 28-30.
4. Kurta S.A. (2020). *Food biotechnology*. Food industry. 13-17, 34.
5. Bondar I.V., Gulyaev V.M. (2004). *Industrial microbiology. Food and agrobiotechnology*. Food science and technology. 5, 26.
6. Zinchenko M.G. (2009). *Biochemical and microbiological bases of food and fermentation technology*. Food science and technology. 5-7.

УДК 641.5;637.521.42-047.38  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.18>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОМОЛОЧНИХ МАРИНАДІВ НА ЯКІСТЬ КУРЯЧИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ЗРГ

**Коваль О. А.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології ресторанної та аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-9427-1842

**Кліщ Н. М.** – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0009-0006-6454-9870

Розширення асортименту продукції з курячого м'яса в Україні є перспективним напрямком розвитку харчової промисловості. Завдяки поєднанню сприятливих макроекономічних умов, зростаючого попиту споживачів та розвитку технологій, українські виробники мають всі можливості для успішної реалізації цього потенціалу. Для розширення асортименту виробів з курятини пропонується використання маринадів у вигляді кефіру та йогурта.

Використання кисломолочних маринадів у виробництві курячих напівфабрикатів відкриває нові перспективи для гастрономії та харчової промисловості завдяки своїй здатності покращувати смакові якості м'яса, роблячи його ніжнішим, соковитішим і додаючи приємну кислинку, яка збалансовує та збагачує смак. Окрім цього, кисломолочні бактерії сприяють підвищенню біологічної цінності продукту, покращуючи засвоєння білків, вітамінів і мінералів, що є важливими для організму. Також такі маринади утворюють захисну плівку на поверхні м'яса, яка допомагає запобігти розвитку патогенних мікроорганізмів, тим самим подовжуючи термін зберігання. Водночас нові смаки й аромати, отримані завдяки кисломолочним маринадам, значно розширюють асортимент продукції, задовольняючи вимоги навіть найвибагливіших споживачів. Використання кисломолочних продуктів позитивно впливає на здоров'я завдяки їх корисним властивостям для травлення, що робить курячі напівфабрикати більш дієтичними та корисними. У результаті впровадження кисломолочних маринадів стає не просто новою тенденцією, а важливим кроком до створення більш смачних, здорових і різноманітних продуктів харчування.

В статті описано доцільність використання запропонованих маринадів та наведено результати досліджень впливу використання даних маринадів на якість готового продукту. Зокрема показано вплив використання запропонованих кисломолочних маринадів на якісні показники готового продукту, серед яких кислотність, вологість та органолептичні показники якості. Зроблено висновки про доцільність та перспективність використання запропонованих маринадів.

**Ключові слова:** курятина, маринад, кефір, йогурт, кислотність, вологість, якість.

### **Koval O. A., Klisch N. M. Research on the influence of fermented milk marinades on the quality of chicken semi-fabricated products for restaurant establishments**

Expanding the range of chicken meat products in Ukraine is a promising direction for the development of the food industry. Thanks to the combination of favorable macroeconomic conditions, growing consumer demand and technological development, Ukrainian producers have every opportunity to successfully realize this potential. To expand the range of chicken products, it is proposed to use marinades in the form of kefir and yogurt. The use of fermented milk marinades in the production of chicken semi-finished products opens up new prospects for gastronomy and the food industry due to their ability to improve the taste of meat, making it more tender, juicy and adding a pleasant sourness that balances and enriches the taste. In addition, fermented milk bacteria contribute to increasing the biological value of the product, improving the absorption of proteins, vitamins and minerals that are important for the body. Also, such marinades form a protective film on the surface of the meat, which helps prevent the development of pathogenic microorganisms, thereby extending the shelf life. At the same time, new tastes and aromas obtained thanks to fermented milk marinades significantly expand the range of products, satisfying the requirements of even the most demanding consumers. The use of fermented milk

*products has a positive effect on health due to their beneficial properties for digestion, which makes chicken semi-finished products more dietary and useful. As a result, the introduction of fermented milk marinades becomes not just a new trend, but an important step towards creating tastier, healthier and more diverse food products.*

*The article describes the feasibility of using the proposed marinades and presents the results of research into the impact of using these marinades on the quality of the finished product. In particular, the impact of using the proposed fermented milk marinades on the quality indicators of the finished product, including acidity, moisture and organoleptic quality indicators, is shown. Conclusions are drawn about the feasibility and prospects of using the proposed marinades.*

**Key words:** chicken, marinade, kefir, yogurt, acidity, moisture, quality.

**Вступ.** М'ясо птиці протягом наступного десятиліття залишатиметься найшвидше зростаючим ринком м'яса і до 2031 р. займе 47% споживання [1]. На думку експертів, довгостроковий перехід до м'яса птиці продовжуватиме зміцнюватися, частково через перевагу білого м'яса серед країн із високим рівнем доходу. Це пояснюється тим, що м'ясо птиці вважається легким у приготуванні, здоровішим і сприймається як кращий вибір. У країнах із середнім і низьким рівнем доходу птиця розглядається як дешевша альтернатива іншому м'ясу. У результаті прогнозується, що до 2031 р. доступність білка з птиці зросте на 16% і до того часу становитиме 47% споживаного м'яса, за яким слідуватимуть свинина, вівці та велика рогата худоба.

Загалом світова пропозиція м'яса буде збільшуватися, щоб задовольнити зростаючий попит, досягнувши 377 млн т до 2031 р., але це буде повільніше, ніж за останнє десятиліття [1].

Маринування курятини – це технологічний процес, який надає м'ясу особливого смаку, аромату та соковитості. Завдяки цьому, маринувана курятина є дуже популярним продуктом серед споживачів.

Маринування курятини має великі перспективи розвитку у сучасному м'ясному виробництві. Постійний пошук нових рішень та адаптація до потреб споживачів дозволяють виробникам створювати конкурентоспроможну продукцію та завойовувати нові ринки.

**Огляд літератури.** Із м'яса птиці виробляють широкий асортимент продуктів, таких як натуральні, мариновані, посічені напівфабрикати, м'ясо птиці фасоване, пельмені, равіоли, манти, ковбасні вироби та консерви. У виробництві напівфабрикатів використовується вся тушка птиці.

Натуральні напівфабрикати вирізняються вищою якістю порівняно з іншими видами напівфабрикатів, оскільки вони готуються в основному з найцінніших частин м'ясної туші. Вилучення кісток, сухожил і хрящів підвищує харчову цінність м'яса, і тому натуральні напівфабрикати мають високий вміст білків і невелику кількість жиру.

Для надання м'ясу кращих споживчих властивостей, зокрема за рахунок поліпшення консистенції використовуються різні методи, як наприклад посол та маринування [2].

Посол м'ясної сировини – одна з найважливіших технологічних операцій, яка внаслідок проникнення, розподілу та накопичення у м'ясі посолочних речовин ініціює розвиток сукупності фізико-хімічних, ферментативних та мікробіологічних процесів, що забезпечують формування у готових виробів необхідних показників якості (смак, аромат, колір, консистенція), стійкість при зберіганні і т.п.

У класичних технологіях м'ясних продуктів під посолом розуміють процес обробки сировини посолочними речовинами з наступною «пасивною» витримкою його протягом певного і, як правило, досить тривалого часу в регульованих температурно-вологіх умовах.

У сучасних інтенсивних технологіях прискорення дифузійно-осмотичного та фільтраційного розподілу посолочних речовин у м'ясі забезпечує застосування методів ін'єктування розсолу з наступною механічною (масування, тумбування) обробкою сировини; активування біохімічних та колоїдно-хімічних процесів відбувається під впливом високоєфективних харчових добавок, що входять до складу розсолів. У деяких технологіях операцію посолу поєднують з операціями тумбування та опади [3].

При цьому в залежності від особливостей технологічного процесу виробів, що обробляються, при виробництві цільном'язових і реструктурованих м'ясних виробів використовують різні способи посолу.

Завдяки посолу і ферментативним і мікробіологічним процесам, що відбуваються при його здійсненні, продукт набуває характерного смаку, аромату і кольору. До того ж, зазначені органолептичні властивості можна активно коригувати, вводючи в суміші посолу різні спеції та добавки. У сучасних технологіях виробництва суцільно-м'язових виробів (варених, копчено-варених) кількість розсолу, що вводиться в сировину, може становити до 100% до його маси. У цьому ступінь утримуваності розсолу, як і тривалість посолу, багато в чому залежить від швидкості дифузії посолочних речовин [4].

Виходячи з сучасних уявлень про мікроструктуру м'яса та результатів численних досліджень кінетики фільтраційно-дифузійного процесу накопичення та розподілу посолочних речовин, можна стверджувати, що за будь-якого способу посолу (сухий, мокрий, змішаний) утворюється система «розсіл-м'ясо», в якій відбувається масообмін через систему мікро- та макрокапілярів, мембрани та перетинки. Інакше кажучи, сіль проникає в м'ясо дифузійним шляхом через систему пор і капілярів, що пронизують тканини, і осмотичним шляхом через численні зовнішні та внутрішні мембрани, що покривають волокна та їх пучки, причому вздовж волокон системою капілярів сіль просувається швидше. При цьому рушійною силою посолу як дифузійного процесу є різниця концентрацій солі в розсолі та сировині, фільтраційний характер масообмін набуває за наявності в системі різниці тисків.

Спосіб посолу істотно впливає на тривалість технологічного процесу, на органолептичні показники та величину виходу готової продукції. Зокрема, при мокрому посолі значення виходу у шийки копчено-вареної становить 70–72%; при посолі з попереднім ін'єктуванням у сировині 10% розсолу – 78–89%, а при використанні двофазної обробки (ін'єктування 36% розсолу з подальшим масажуванням) величина виходу досягає 112–115% [3].

Необхідно відзначити, що технологічна результативність та економічна ефективність процесу посолу безумовно залежать не тільки від обраного способу посолу, а й від складу розсолів, що використовуються.

Розсоли визначаються як невід'ємна частина сучасних технологій обробки м'ясних виробів та поділяються на кілька типів залежно від поставлених технологічних завдань та складу: прості, складні та багатокомпонентні.

Прості розсоли – це розчини солі з додаванням різних інгредієнтів, таких як нітрит натрію та цукор. Прості розсоли допомагають стабілізувати продукти та забезпечують вихід готового виробу на рівні 75–100%.

Складні розсоли – ці розсоли містять ширший спектр інгредієнтів, включаючи білок, фосфати, антиоксиданти та інші добавки. Їхнє введення в м'ясну сировину підвищує вихід готового продукту до 105–125%.

Багатокомпонентні розсоли готуються на основі комплексу інгредієнтів та здатні забезпечити найбільший вихід продукції (до 125–150%), особливо при використанні гідроколоїдів та стабілізаторів.

Більш наглядний вплив ін'єктування розсолу на вихід готової продукції наведено в табл. 1.

Крім того, варто зазначити, що склад та структура розсолів безпосередньо впливають на органолептичні та фізико-хімічні властивості готової продукції.

Мариновані напівфабрикати відрізняються від натуральних не лише зовнішнім виглядом, але й смаковими якістьми. Технологія їх приготування включає додаткові операції, такі як соління, масажування і витримування в розсолі.

Таблиця 1

**Загальна характеристика композиційного складу розсолів,  
що використовуються в технології цільном'язових і реструктурованих  
м'ясних продуктів**

<b>Вид м'ясних продуктів</b>	<b>Рівень ін'єктування розсолу, % маси сировини</b>	<b>Склад розсолу</b>	<b>Вихід готової продукції, % до маси сировини</b>
Варені, варено-копчені, запечені, копчено-запечені, сиров'ялені цільном'язові м'ясні продукти	10–20	Нітритно-посолочна суміш (НПС), цукор, екстракти прянощів	100
Реструктуровані м'ясні вироби	20–40	НПС, цукор, фосфати, білкові препарати, стабілізатори, підсилювачі смаку	120
Варені, варено-копчені і копчено-запечені реструктуровані чи цільном'язові продукти, призначені для тривалого зберігання і заморожування	40–60	НПС, суміш фосфатів, цукор, білкові препарати, загусники, стабілізатори, антиоксиданти, спеції, ароматизатори	140
Варені, запечені, смажені, копчено-запечені вироби з використанням сировини, обробленої термостійкими ферментами	60–80	НПС, білкові препарати, антиоксиданти, стабілізатори, загусники, спеції, аромати, крохмаль	170
Вироби реструктурованого типу для смаження, піци та ін.	100–120	НПС, цукор, суміш стабілізаторів, антиоксидантів, концентратів, прянощів, підсилювачі смаку і запаху	175 і більше

Виготовлення маринованих напівфабрикатів включає в себе використання всіх видів м'яса птиці та застосування маринадних сумішей і соусів. Це не лише призводить до зміни зовнішнього вигляду натуральних напівфабрикатів, але й дозволяє значно розширити їх смакові якості.

Маринади доступні у рідкому та сухому вигляді, а в останньому випадку їх можна змішувати з водою перед використанням. Процес виробництва маринованих напівфабрикатів у маринадах аналогічний технології виготовлення виробів із соленого м'яса [5, 6].

Мариновані напівфабрикати з курячого м'яса вирізняються своєю універсальністю та можливістю додавання різноманітних спецій та прянощів у рецептурах, що робить їх асортимент дуже різноманітним.

Сучасний асортимент вітчизняних м'ясних напівфабрикатів представлений широкою різноманітністю, включаючи як традиційні продукти, так і нові види продукції. Специфічно для сегменту м'ясних напівфабрикатів з птиці у маринаді, таких як крильця, стегенця та шашлики, використовуються сучасні технології та нові рецептури з використанням широкого спектру харчових добавок [7].

Можливості розширення асортименту напівфабрикатів забезпечуються за допомогою різних маринадів. Мариновані напівфабрикати відрізняються від звичайних натуральних не лише зовнішнім виглядом, але й смаковими властивостями.

**Метою** наших досліджень було надання виробам нових смако-ароматичних характеристик. Для цього було здійснено маринування м'яса за допомогою кислomолочних маринадів на основі йогурту та кефіру.

**Матеріали та методи.** Матеріали дослідження, сировина, що входить до рецептури.

- Куряче філе. ДСТУ 3143:2013 «М'ясо птиці. Загальні технічні умови»;
- Йогурт «Галичина 3%» ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови»;
- Кефір «Карпатський 2,2%» ДСТУ 4417:2005 «Кефір. Технічні умови».

**Результати та їх обговорення.** В ході визначення впливу додавання запропонованих маринадів на якісні показники продукту було проведено визначення титрованої кислотності (згідно ДСТУ ISO 2917-2001).

Титрування м'яса з маринадом є необхідним з кількох причин:

- Визначення кислотності є важливим показником для оцінки якості м'яса та маринаду. Титрування може використовуватися для визначення кислотності цих зразків, що дає інформацію про їхню кислотність або лужність.

- Контроль якості: Титрування може допомогти в контролі якості м'яса та маринаду, виявляючи будь-які зміни у їхньому хімічному складі. Наприклад, воно може виявити наявність або відсутність конкретних речовин, які можуть вказувати на проблеми з якістю або безпекою продукту.

- Оцінка ефективності маринування: Титрування може допомогти оцінити ефективність маринування, вимірюючи зміни у хімічному складі м'яса та маринаду перед та після процесу маринування. Це може допомогти визначити, наскільки добре маринад проникає в м'ясо та змінює його характеристики.

- Оптимізація рецептів: Титрування може допомогти кухарям та виробникам оптимізувати рецепти маринадів, вимірюючи вплив різних інгредієнтів на хімічний склад та якість кінцевого продукту.

Отже, титрування м'яса з маринадом може бути важливим інструментом для контролю якості, оцінки ефективності маринування та оптимізації рецептів у кулінарній сфері.

Результати визначення титрованої кислотності м'яса до та після приготування з додаванням маринадів та без них наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Показники кислотності досліджуваних зразків**

Найменування	Показник рН до приготування	Показник рН після приготування
Зразок маринаду з йогуртом	5,6	7,0
Зразок маринаду з кефіром	5,1	6,5
Зразок без маринаду	6,0	7,0

Результати проведених досліджень показали, що додавання кефіру в якості маринаду призводило до підвищення кислотності середовища на 1,0 одиницю приладу у контрольному зразку, як перед, так і після приготування. Використання йогурта в якості маринаду також призводить до підвищення кислотності проте в меншій мірі, якщо порівнювати зі зразком з використанням кефіру.

Визначення вологості в м'ясних продуктах є важливим етапом контролю якості. Регулярний контроль вологості дозволяє забезпечити високу якість продукції та довіру споживачів.

Результати дослідження представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати визначення вологості дослідних зразків**

Найменування	Відсоток вологи
Зразок маринаду з йогуртом	70,6
Зразок маринаду з кефіром	70,0
Контроль	53,3

Згідно результатів досліджень визначення вологості продукту за допомогою дегідрататора впливає, що зразки з йогуртом та кефіром у ролі маринаду дають подібні показники вологості, а саме 70,6% та 70% відповідно.

Органолептичні вимоги до якості курячого філе приготовленого су-від включають ряд характеристик, які можна оцінити за виглядом, запахом, текстурою та смаком продукту. Характеристика органолептичних показників дослідних зразків наведено в табл. 4.

Органолептична оцінка є важливим інструментом для визначення споживчих властивостей м'яса з маринадом. Вона дозволяє отримати зворотний зв'язок від потенційних споживачів та визначити, які аспекти потребують покращення. Цей метод є важливим не лише для наукових досліджень, але й для розробки нових продуктів харчування.

За результатами досліджень було встановлено, що дослідний зразок з використанням йогурта в якості маринаду має найкращі органолептичні показники якості, що перевищують показники зразку з використанням кефіру та контрольного зразку.

Профілограма досліджуваних виробів зазначена на рис. 1.



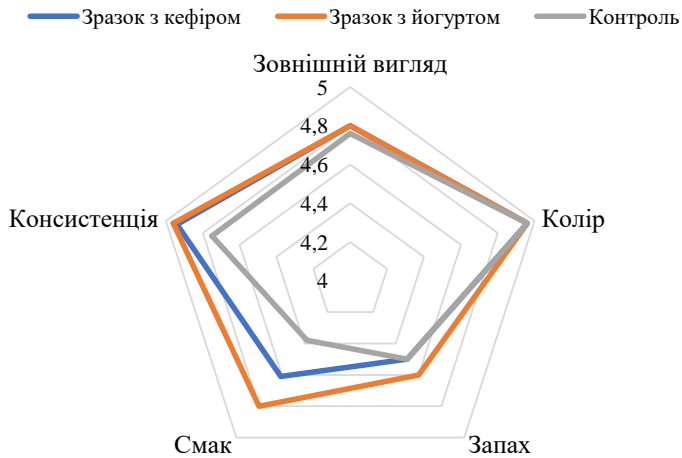


Рис. 1. Профілограма досліджуваних зразків

Таблиця 4

## Органолептичні показники виробів

Найменування	Зовнішній вигляд	Смак	Текстура	Запах
Куряче філе без маринаду	Варене м'ясо, блідо-рожевого кольору	Вареного м'яса	Добре відварене філе	Притаманний вареному м'ясу
Куряче філе з кефірним маринадом	Філе має ніжно-білий або кремовий колір, який залежить від типу кефіру та тривалості маринування. Однорідна текстура без ознак розпаду або деформації.	Кефір додає приємну легку кислинку до смаку м'яса.	Кефір додає ніжності та м'якості до філе, роблячи його особливо ніжним. Маринування в кефірі допомагає зберегти природню соковитість м'яса.	Ніжний кислий аромат кефіру, який є відчутним, але не домінуючим
Куряче філе з йогуртовим маринадом	Філе має ніжно-білий або кремовий колір, який залежить від типу йогурту та тривалості маринування. Однорідна текстура без ознак розпаду або деформації	М'ясо має певний відтінок молочного смаку внаслідок маринування в йогурті.	Маринування в йогурті допомагає зберегти природню соковитість м'яса.	Нотки молочного аромату, які присутні в йогуртовому маринаді

**Висновки.** Використання визначеного йогурту та кефіру в якості маринаду для курки для розширення асортименту м'ясних виробів та надання даним виробам унікальних органолептичних властивостей показало свою ефективність та перспективність. Крім того, результати експериментальних досліджень впливу запропонованих маринадів на якість готового продукту показали незначне підвищення рівня титрованої кислотності. Використання даних маринадів практично рівнозначно впливає на рівень вологості готового продукту.

Тому з впевненістю можна сказати, що використання запропонованих кефіру та йогурта в якості маринадів є перспективним та таким що потребує подальших досліджень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Баль-Прилипко Л.В. Технологія зберігання, консервування та переробки м'яса: Підручник. К., 2010. 469 с.
2. Pereira, P. C., Vicente, F. (2017). Meat Nutritive Value and Human Health. In: *New Aspects of Meat Quality* (pp. 465-477). Woodhead Publishing.
3. Pinto Neto, M. (2004). Tombamento ou injeção: qual a melhor opção? *Revista Nacional da Carne*, Edição № 330.
4. De Mey, E., D. Telleir, D., Neyrinck, E., Raes, K., Paelinck, H., Fraeye, I. (2015). Influence of the raw ham quality and tumbling time on yield and product quality of cooked ham. *Proceedings of 61st International Congress of Meat Science and Technology, 23-28th August 2015, Clermont-Ferrand, France.*
5. Карп А. Оптимізація обліку компонентів розсолу при виробництві делікатесів. М'ясна справа. 2017. № 7. С. 13-14.
6. Кишенько І. І. Сучасні аспекти створення м'ясних виробів. Таврійський науковий вісник. 2001. Вип. 17. С. 87-89.
7. Коновалова С. О. Державне регулювання якості та безпеки харчових продуктів. Сертифікація харчових продуктів. Конспект лекцій. Краматорськ: ДДМА, 2020. 100 с.

### REFERENCES:

1. Bal-Prylypko L.V. (2010). *Tekhnolohiya zberihannya, konservuvannya ta pererobky m'yasa* [Technology of meat storage, canning and processing]. Kyiv [in Ukrainian].
2. Pereira, P. S., & Vicente, F. (2017). Meat nutrition value and human health. In *New aspects of meat nutrition*. Woodhead Publishing, 465-477.
3. Pinto Neto, M. (2004). Tombamento ou injeção: qual a melhor opção? *Revista Nacional da Carne*, 330.
4. De Mey, E., D. Telleir, D., Neyrinck, E., Raes, K., Paelinck, H., Fraeye, I. (2015). Influence of the raw ham quality and tumbling time on yield and product quality of cooked ham. *Proceedings of the 61st International Congress of Meat Science and Technology, 23-28th August 2015, Clermont-Ferrand, France.*
5. Карп А. (2017). Optymizatsiya obliku komponentiv rozsolu pry vyrobnytstvi delikatesiv [Optimization of accounting for brine components in the production of delicacies]. *Meat business*, 7, 13-14 [in Ukrainian].
6. Kyshenko I. I. (2001). Suchasni aspekty stvorenniya m'yasnykh vyrobiv [Modern aspects of the creation of meat products]. *Taurian Scientific Herald*, 17, 87-89 [in Ukrainian].
7. Konovalova S. O. (2020). Derzhavne rehulyuvannya yakosti ta bezpeky kharchovykh produktiv. Sertyfikatsiya kharchovykh produktiv [State regulation of quality and safety of food products. Certification of food products]. Synopsis of lectures. Kramatorsk: DDMA [in Ukrainian].

УДК 664.952:637.56]:641.553  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.19>

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КРАБ-КЕЙКІВ НА ОСНОВІ АНАЛОГІВ МОРЕПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ LEAN PRODUCTION

**Колеснікова М. Б.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-6223-7105  
Scopus-Author ID: 57215434099  
Web of Science Researcher ID: AАН-2354-2019

**Юрченко С. Л.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-1286-081X  
Scopus-Author ID: 57220201511  
Web of Science Researcher ID: HGU-8358-2022

**Андрєєва С. С.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-2981-481X  
Scopus-Autor ID: 57220156885  
Web of Science Researcher ID: AEY-8755-2022

**Черемська Т. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6518-3889  
Scopus-Author ID: 57217485269

**Шевченко С. В.** – здобувач ступеня вищої освіти «магістр»  
кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету

Успішність та результативність діяльності ресторанної індустрії суттєво залежить від можливостей закладу щодо створення цінності для споживача. Відповідно до принципів *lean production* виробник може лише пропонувати цінність виробленого продукту чи послуги, реальну його цінність визначає споживач. Визначено, що однією з популярних груп меню у закладах ресторанної індустрії є страви з нерибної водної сировини. Але для активного впровадження цієї групи страв є економічні та технологічні обмеження (висока вартість, нестабільність технологічних характеристик сировини під час зберігання тощо). Проведений аналіз останніх досліджень за даним напрямом свідчить про доцільність пошуку альтернативних джерел сировини, які імітують крабове м'ясо в готовій продукції.

На основі аналітичних досліджень розроблено принципи споживчої цінності з використанням інструментів ощадливого виробництва (*lean production*) та наукову робочу гіпотезу у вигляді інноваційного задуму для розроблення технології краб-кейків з повною заміною крабового м'яса. За методом діаграми Ісікави теоретично обґрунтовано види основної

сировини для краб-кейків (хек, кальмар, креветка), визначено її функціональну роль у рецептурній суміші, проведено перерахунок за основними поживними речовинами (білки, жири вуглеводи). Показано доцільність використання структуроутворювачів для внутрішнього та зовнішнього структуроутворення рецептурної суміші (крохмалю модифікованого, панірувальних сухарів). Експериментально обґрунтовано рецептурний склад та технологічний процес виробництва краб-кейків з використанням альтернативної крабовому м'ясу сировини, поетапно показано вплив складу рецептурної суміші на технологічні та органолептичні показники краб-кейків. Проведено нормування показників поживної цінності.

**Ключові слова:** заклади ресторанної індустрії, краб-кейк.

**Kolesnikova M. B., Iurchenko S. L., Andreeva S. S., Cheremskaya T. V., Shevchenko C. V. Substantiation of the technology of crab cakes based on seafood analogues using the principles of lean production**

*The success and effectiveness of the restaurant industry depends heavily on the ability of the establishment to create value for the consumer. According to the principles of lean production, a manufacturer can only offer the value of a product or service, while the consumer determines its real value. It has been determined that one of the most popular menu groups in the restaurant industry is dishes made from non-fish aquatic raw materials. However, there are economic and technological limitations to the active introduction of this group of dishes (high cost, instability of technological characteristics of raw materials during storage, etc.) The analysis of the latest research in this area shows that it is advisable to search for alternative sources of raw materials that imitate crab meat in finished products.*

*On the basis of analytical research, the principles of consumer value using lean production tools and a scientific working hypothesis in the form of an innovative idea for developing crab cake technology with a complete replacement of crab meat were developed. The types of main raw materials for crab cakes (hake, squid, shrimp) were theoretically substantiated using the Ishikawa diagram method, their functional role in the recipe mixture was determined, and the main nutrients (proteins, fats, carbohydrates) were recalculated. The expediency of using structurizers for internal and external structuring of the formulation mixture (modified starch, breadcrumbs) is shown. The recipe composition and technological process for the production of crab cakes using raw materials alternative to crab meat have been experimentally substantiated, and the influence of the composition of the recipe mixture on the technological and organoleptic characteristics of crab cakes has been shown step by step. Nutritional value indicators were standardized.*

**Key words:** restaurant industry establishments, crab cake.

**Постановка проблеми.** Вимоги сучасних споживачів до харчової продукції є дуже багатовекторними та повинні задовольняти органолептичні очікування, відповідати критеріям харчової безпечності, забезпечувати корисність для організму тощо.

При оцінці ступеня новизни харчової продукції найчастіше йде мова про удосконалення вже існуючих технологій шляхом використання нових інгредієнтів, способів механічного та/або теплового оброблення, використання інновацій в апаратурному оформленні технологічного процесу. На теперішній час дуже активно розвивається тенденція щодо популяризації гастрономічного туризму. Відомо, що знайомство з культурою будь-якої країни ніколи не обходиться без знайомства з її гастрономічними спеціальтетами тому, що певні особливості інгредієнтів та технології приготування, подавання та споживання кулінарної продукції відтворюють не тільки уподобання населення. Вони є відображенням всієї культури нації, географії країни, природних особливостей, національних звичок тощо.

Моніторинг споживачьких переваг виявив, що традиційно популярними є страви та вироби італійської (наприклад, піца), грузинської (наприклад, хінкалі, хачапури), японської (суші, сашімі, роли) та американської кухонь (бургери). Також великим попитом користуються страви з риби та нерибної водної сировини.

Але розроблення та впровадження кулінарної продукції з морепродуктів (зокрема з використанням крабового м'яса, омарів, устриць) має низку обмежуючих чинників: великі технологічні втрати на етапі механічного та теплового оброблення, складнощі

у забезпеченні умов транспортування та зберігання, високу собівартість страв. Більшість морепродуктів не рекомендовано піддавати низькотемпературному обробленню з подальшим розморожуванням, що може супроводжуватися погіршенням органолептичних показників, технологічних властивостей м'яса тощо. Однак попри це, попит на продукцію зі смаком крабового м'яса є досить високий та стабільним. Тому обґрунтування технології краб-кейків на основі аналогів морепродуктів є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Морепродукти є багатим джерелом білка, клітковини, амінокислот, вітамінів і мінералів, а також омега-3 поліненасичених жирних кислот, таких як ейкозапентаснова кислота (ЕРА) і докозагексаснова кислота (ДНА), які забезпечують антиатерогенні та антитромботичні властивості, що приваблює багатьох споживачів.

Альтернативи морепродуктам мають потенціал для забезпечення такої ж кількості поживних речовин, особливо білків, за допомогою включення багатих білком рослинних продуктів, таких як бобові (табл. 1). Багато виробників, таких як Good Catch Foods і New Wave Foods також ініціювали розробку альтернатив морепродуктів, включаючи рибні бургери, креветки та тунець. Ці продукти імітують сенсорні, поживні та текстурні характеристики звичайних морепродуктів на ринку [1]. Ці побоювання призвели до появи рослинних альтернатив морепродуктам, які імітують текстурні та сенсорні характеристики морепродуктів (рис. 1).

Одним з варіантів задоволення споживчого попиту є використання аналогів делікатесної сировини, наприклад, продуктів з фаршу сурімі [2].

Гідною альтернативою натуральній нерибній водній сировині можуть стати напівфабрикати рослинного походження на основі текстурованих білків пшениці та гороху, тобто «рослинне м'ясо» [3].

Певна частка розробок продукції, яка реалізуються в ресторанній індустрії, як правило, вирішує локальні завдання: розширення асортименту, покращення споживчих властивостей, оптимізація технологічного процесу виробництва та ін. Але сучасний світ, який стрімко змінюється, диктує необхідність багатовекторного розвитку для успішного розроблення та впровадження або удосконалення нових харчових продуктів. Це означає, що харчову продукцію не можна розглядати тільки як джерело втамування голоду або нову гастрономічну емоцію.



Рис. 1. Схематичне обґрунтування необхідності розроблення альтернативних морепродуктів

Джерело: [1]

Відповідно до світових тенденцій технологію харчової продукції доцільно розглядати як бізнес: сукупність методів, прийомів, інновацій, технічних і розумових рішень, які сприяють розвитку, розширюють можливості та створюють нові перспективи.

**Основна частина.** В межах даного дослідження особливий інтерес становлять гарячі страви з риби, нерибної водної сировини та продуктів-аналогів. І якщо раніше відношення споживачів до продуктів-аналогів було вкрай негативне (наприклад, білкова «ікра», «кава» на основі цикорію), то з розвитком технологічної науки так звані імітовані продукти перевершують оригінал (наразі цю тенденцію демонструє ринок ікри імітованої).

Відомо, що крабові палички мають безліч подібних смакових характеристик з крабовим м'ясом за рахунок впливу ароматизатора, який налаштовує свідомість споживача на споживання страви з морепродуктів. Але багато споживачів намагаються уникати смаку крабових паличок, щоб обмежити себе від імітації не натурального продукту.

Для вирішення цієї проблеми нами вирішено розробити продукт, який матиме всі смакові якості крабового м'яса, уникаючи використання фаршу сурімі. При цьому заплановано розробити страву для споживання в гарячому вигляді, що ще більше буде підтверджувати, що страва приготована з натуральної рибної та нерибної сировини (морепродуктів) [4].

Для створення інноваційного задуму скористалися принципами формування споживчої цінності, які сформовані концепцією lean production (рис. 2), відповідно до якої цінність – корисність, властива продукту з погляду клієнта і знаходить свій відбиток у ціні продажу та ринковому попиті.

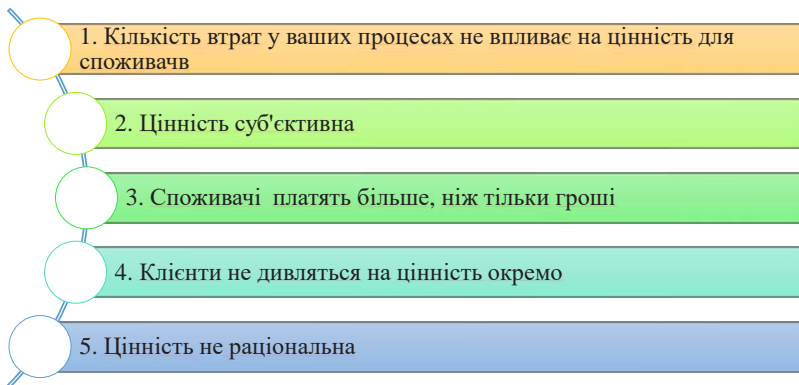


Рис. 2. Принципи споживчої цінності (lean production)

Найбільш поширеними гарячими стравами з морепродуктів є запіканки, пудинги, кокілії. Але з оглядом на потреби сучасного споживача визначено, що одними з найпопулярніших страв є гастрономічні варіації на тему традиційних американських панкейків, зокрема панкейки з лососем, краб-кейки – смажені або запечені вироби округло-овальної форми з січеного м'яса краба з додаванням яйця, крохмалю, борошна та інших наповнювачів [5]. Також, багато американських технологій позиціонують краб-кейки як однопорційну запіканку, яка являє поєднання крабового м'яса з яєчно-вершковою сумішшю та овочами.

На наступному етапі робіт визначено інноваційний задум для розроблення технології краб-кейків з повною заміною крабового м'яса (рис. 3).

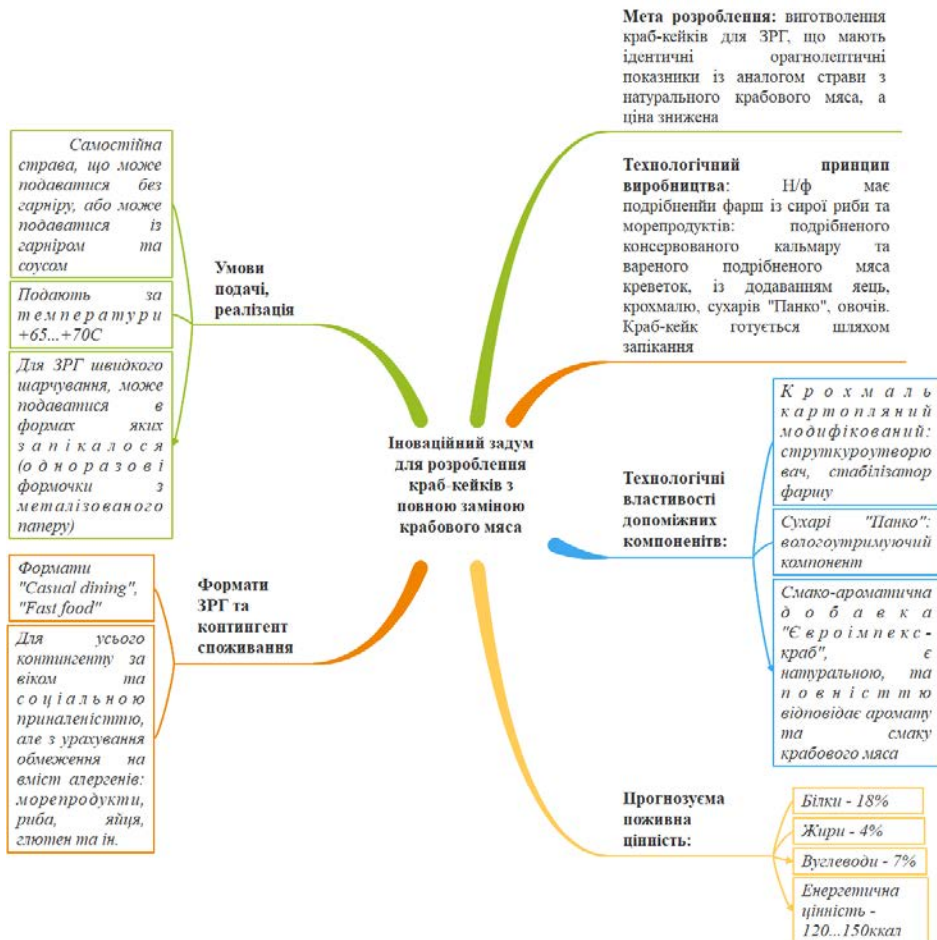


Рис. 3. Інноваційний задум для розроблення технології краб-кейків з повною заміною крабового м'яса

Використання крабового м'яса в технологіях кулінарної продукції має багато економічних та технологічних обмежень: висока вартість, втрати за механічного кулінарного оброблення понад 60%, недоцільність заморожування-розморожування [6]. Успішному вирішенню даної дилеми може стати розроблення краб-кейків з повною заміною крабового м'яса на рибну сировину з додаванням інших морепродуктів, які є більш ресурсними (технологічно та економічно).

Для перевірки даної робочої гіпотези обґрунтовано критерії вибору рибної та нерибної водної сировини для виробництва краб-кейків за методом діаграми Ісікави (рис. 4).

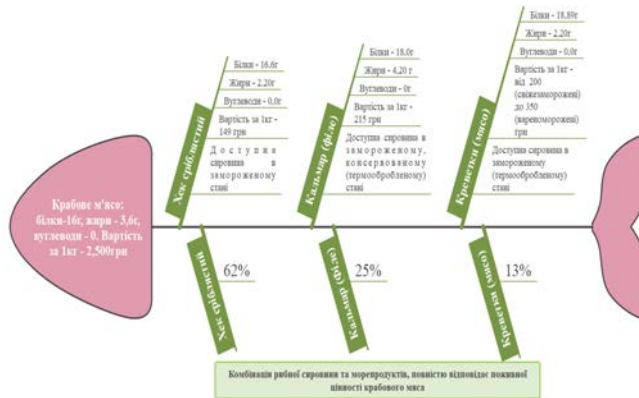


Рис. 4. Критерії вибору риби та морепродуктів для виробництва краб-кейків

Для проектування рецептурної суміші, як аналогу крабового м'яса, зосередили увагу на сполучуваності органолептичних компонентів за смаком, ароматом, текстурою, а також за вмістом білка. Обґрунтування сировини для виробництва краб-кейків надано в табл. 1.

Таблиця 1

#### Обґрунтування сировини для краб-кейків

Найменування сировини у складі рецептурної суміші	Переваги	Недоліки
Основна сировина		
Хек сріблястий	Високий вміст білка, не має вираженого рибного смаку, після теплового оброблення характеризується в міру соковитою пружною консистенцією	Низька вологоутримуюча здатність після розморожування
Філе кальмара	Щільна консистенція, достатній рівень білка	є проблемним з точки зору формування консистенції за теплового оброблення (наприклад, жорсткість), консервоване м'ясо кальмара володіє специфічним смаком та ароматом
М'ясо креветок	Містить на 2% більше білка у порівнянні з крабовим м'ясом, має подібну до м'яса краба волокнисту структуру	
Структуруючі		
Полісахаридні компоненти, які здатні зв'язувати вологу на етапі утворення фаршу (холодонабрякаючий крохмаль ТМ «Новохім»)	Гарно поглинає вологу на етапі формування фаршу, низька температура клейстеризації, висока вологоутримуюча здатність	Підвищує рівень вуглеводів у рецептурі
Натуральні смако-ароматичні компоненти	Формують близький до природного смак та аромат крабового м'яса	Відношення споживачів до використання ароматичних речовин



Для визначення технологічних властивостей холоднонабрякаючих крохмалів досліджено показник вологоутримуючої здатності під час клейстеризації та визначено стабільність оклейстеризованих крохмальних дисперсій після охолодження (рис. 5).

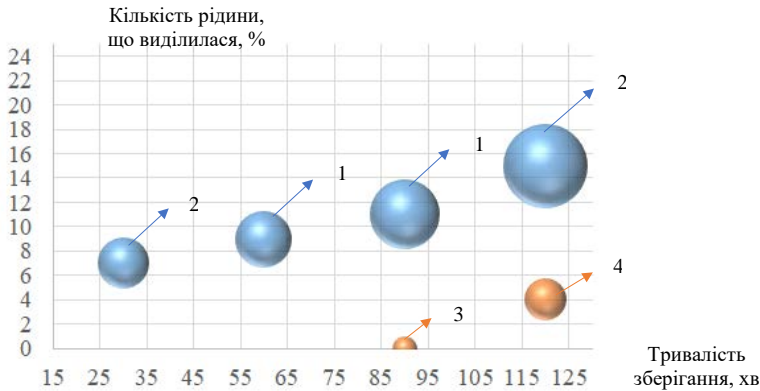


Рис. 5. Стабільність клейстерів від тривалості зберігання:

1 – крохмаль картопляний нативний, 2 – крохмаль кукурудзяний нативний, 3 – крохмаль картопляний модифікований, 4 – крохмаль кукурудзяний модифікований

Як видно з наведених даних крохмалі модифіковані мають суттєві переваги за показником стабільності для 3%-них оклейстеризованих крохмальних дисперсій, які протягом 1,5 год проявляли стабільність без виділення вологи. Тоді як оклейстеризовані крохмальні дисперсії на основі нативних крохмалів починали відсікати вологу вже через 25 хв із виділенням вологи від 8 до 15%.

Моделювання варіацій рецептурного складу краб-кейків (табл. 2) дозволило визначити оптимальний варіант для забезпечення технологічних та текстурних властивостей кулінарної продукції. Аналізуючи експериментальні дані визначено, що крохмаль картопляний модифікований зв'язує вологу та утримує її всередині, а оптимальним вмістом крохмалю обрано 3,0% (при збільшенні вмісту фарш набуває нехарактерної липкості).

Традиційно у технології смажених виробів структуроутворювачі виконують дві функції: сприяють внутрішньому та зовнішньому структуроутворенню. Тому на наступному етапі обґрунтовано використання панірувальних сухарів «Панко» (різновид японських панірувальних сухарів із білого хліба без скоринки, грубодисперсні, з високим вмістом клейковинних білків) в технології краб-кейків.

Для обґрунтування вмісту сухарів «Панко» в складі рецептурної суміші досліджено вологоутримуючу здатність (ВУЗ), жирутримуючу здатність (ЖУЗ), а також рівень теплових втрат при смаженні (табл. 3). Подрібнену рибну основу (риба хек, кальмари, креветки), змішували з яйцем курячим, крохмалем картопляним й сухарями «Панко», залишали на 30 хв з метою набрякання крохмалю та білків сухарів «Панко» після чого формували краб-кейки, панірували у сухарях «Панко» й смажили за температури  $170 \pm 2^\circ\text{C}$  протягом 12 хв. За даними досліджень визначено, що сухарі «Панко» за вмісту 12%, утримують вологу до 80% тим самим зменшують втрати за теплового оброблення.

Таблиця 2

**Дослідження функціонально-технологічних властивостей модельних зразків з використанням крохмалю картопляного модифікованого**

Склад модельних зразків	ВУЗ, %	ЖУЗ, %	Текстурні властивості фаршу
Модельний зразок № 1 (контроль): Риба – 63% Кальмар – 20% Креветка – 10% Яйце куряче – 7%	61,0	21,0	Фарш не пластичний, не зберігає форму, неоднорідний
Модельний зразок № 2: Риба – 60% Кальмар – 20% Креветка – 10% Яйце куряче – 7% Крохмаль картопляний, модифікований – 3%	67,2	28,0	Фарш має однорідну структуру, пластичний, але під час формування в н/ф «Крабкейк» одразу піддається деформації
Модельний зразок № 3: Риба – 57% Кальмар – 20% Креветка – 10% Яйце куряче – 7% Крохмаль картопляний, модифікований – 6%	69,2	29,0	Фарш має достатньо клейку текстуру, в міру пластичний, під час порціонування його на н/ф, з метою панірування, має липкість

Таблиця 3

**Дослідження функціонально-технологічних властивостей модельних зразків з використанням крохмалю картопляного модифікованого та сухарів «Панко»**

Склад модельних зразків	ВУЗ, %	ЖУЗ, %	Втрати за ТО, %	Текстурні властивості фаршу	Консистенція модельного зразку після ТО
Модельний зразок № 1 (контроль): Риба – 60% Кальмар – 19% Креветка – 10% Яйце куряче – 7%; Сухарі «Панко» для панірування – 12%	65±2	33±1	25±1	Фарш є однорідним, але в'язким, що ускладнювало процес формування й панірування	Зразок під час смаження має невеликі тріщини, але скоринка хрустка й щільна. Під час розрізання виріб одразу піддавався деформації за рахунок високого вмісту вологи
Модельний зразок № 2: Риба – 50% Кальмар – 18% Креветка – 10% Яйце куряче – 7% Крохмаль картопляний, модифікований – 3% Сухарі «Панко» – 12%	73±2	40±2	16±2	Фарш є однорідним пластичним, добре піддається формуванню й під час панірування не піддавався деформації	Зразок під час смаження не змінив форми, без тріщин. Скоринка після смаження тонка, хрустка. Під час розрізання виріб мав однорідну рихлу масу
Модельний зразок № 3: Риба – 46% Кальмар – 18% Креветка – 10% Яйце куряче – 7% Крохмаль картопляний, модифікований – 3% Сухарі «Панко» – 16%	78±3	42±1	15±2	Фарш набув одразу щільності й рихлості	Зразок під час смаження не змінив форми, без тріщин. Скоринка після смаження тонка, хрустка. Під час розрізання виріб мав однорідну не соковиту, рихлу масу

Таблиця 4

## Узагальнений хімічний склад краб-кейків (аналогу та інновації)

Показник	Одиниця вимірювання	Вміст, для краб-кейків:		Відхилення у порівнянні з аналогом, од. вимір.	
		аналог	інновація		
Поживні речовини					
Вода	г	22,41	43,94	21,53	
Білки		11,66	14,52	2,86	
Жири		11,02	6,17	-4,85	
Насичені жирні кислоти		0,28	0,47	0,19	
Вуглеводи		11,48	12,07	0,59	
Моно- та дисахариди		1,23	1,5	0,27	
Крохмаль		3,08	4,4	1,32	
Харчові волокна		0,41	1,33	0,92	
Органічні кислоти		0,09	45,46	45,37	
Зола		0,44	0,78	0,34	
Калорійність		ккал	191,29	162,55	-28,74
Вітаміни					
A	мг	0,09	0,03	-0,06	
B <sub>1</sub>	мг	0,04	0,08	0,04	
B <sub>12</sub>	мкг	0,56	0,1	-0,46	
B <sub>2</sub>	мг	0,08	0,09	0,01	
B <sub>6</sub>	мг	0,19	0,09	-0,1	
B <sub>9</sub>	мкг	16,29	8,66	-7,63	
C	мг	5,84	1,12	-4,72	
D	мкг	0,2	0,15	-0,05	
E	мг	3,97	2,03	-1,94	
H	мкг	2,09	1,59	-0,5	
PP	мг	1,66	1,08	-0,58	
Мінеральні речовини					
Алюміній	мкг	93,92	21,68	-72,24	
Бор	мкг	24,15	10,84	-13,31	
Залізо	мг	2,75	0,93	-1,82	
Йод	мкг	2,27	78,87	76,6	
Калій	мг	225,57	231,49	5,92	
Кальцій	мг	70,86	40,95	-29,91	
Кобальт	мкг	1,57	26,72	25,15	
Магній	мг	32,75	36,81	4,06	
Марганець	мкг	55,14	106,50	51,36	
Мідь	мкг	21,96	397,00	375,04	
Молібден	мкг	1,14	7,65	6,51	
Натрій	мг	137,85	102,86	-34,99	
Рубідій	мкг	53,38	25,79	-27,59	
Сіра	мг	27,00	121,10	94,1	
Фосфор	мг	170,38	137,59	-32,79	
Фтор	мкг	9,64	311,34	301,7	
Хлор	мг	18,31	783,64	765,33	
Холін	мг	27,49	18,13	-9,36	
Хром	мкг	0,70	28,41	27,71	

Для остаточного завершення формування смакових показників крабового м'яса здійснено підбір смако-ароматичної композиції. Для отримання краб-кейків з натуральним ароматом крабового м'яса обрано натуральний ароматизатор «Краб» (ТМ «Євроімпекс»), який вироблено шляхом ферментативного гідролізу панциру крабу [7] та визначено його оптимальний вміст за органолептичним сприйняттям.

Розрахунок хімічного складу краб-кейків у порівнянні з аналогом (табл. 4) показав, що страва-інновація характеризується більшим вмістом білку, меншою кількістю жиру та зниженою на 15% калорійністю у порівнянні зі стравою-аналогом.

Вміст білку в краб-кейку, який розроблено, досягає до 14,52% за рахунок вмісту м'яса хеку. Вміст вуглеводів становить 12,07 г за рахунок вмісту сухарів «Панко», з них вміст моно- та дисахаридів складає 1,5 г, а крохмаль – 4,4 г. Вітамінний склад розробки вміщує у себе практично усі вітаміни за рахунок вмісту м'яса хеку, креветок та яйця курячого. Також в краб-кейку присутній вітамін С (1,12 мг) за рахунок вмісту цибулі.

В ході розрахунку мінеральних речовин визначено, що за рахунок вмісту хеку, кальмару та креветок вміст таких мінеральних речовин як: йод, магній, мідь, молібден, натрій, фосфор, фтор й хром мають оптимальний вміст для раціонального прийому їжі.

**Висновки.** В результаті аналітичних та експериментальних робіт обґрунтовано рецептурний склад краб-кейків, а саме: м'ясо риби хек – 41%, м'ясо кальмарів – 16%, м'ясо креветок – 8%, яйця курячі – 7%, цибуля ріпчаста – 5%, ароматизатор «Краб» – 0,6%, крохмаль картопляний, модифікований – 3%, сухарі «Панко» – 12%, сіль кухарська – 1,3%, цукор білий – 1,0%, перець чорний, мелений – 0,3%. Розроблено технологічну схему виробництва краб-кейків, проведено нормування органолептичних показників, визначено поживну цінність страви у порівнянні з аналогом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Gui Y., Wang Q., Zou J., Chen X., Song C., Chen J. From pond to table: Differences in breeding and consumption affect the balance between dietary risk of residual cadmium and uptake benefits of nutrients in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Food Chemistry*. 2021. 373 (1-4).
2. Sahubawa L., Pratomo S. A. Nutritional composition and consumer preference level from hanpen fish cake based on African catfish surimi and cassava flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. V.1. No. 1. P. 11.
3. Karimidastjerd A., Gulsunoglu-Konuskan Z., Ersoy B., Khan Z. S. Plant-based seafoods: a sustainable and nutritious alternative. *Handbook of Plant-Based Food and Drinks Design*. 2024. pp. 167-181.
4. Pérez-Lloréns José Lucas, Yanet Acosta, Fernando G. Brun. Seafood in Mediterranean countries: a culinary journey through history. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2021. 26 (8).
5. Dien Terri. Essential Seafood Cookbook: Classic Recipes Made Simple. Rockridge Press, 2020. 172 p.
6. Технологія риби та морепродуктів: навчальний підручник / Т.К. Лебська та ін. Київ: НУБіП України, 2021. 311 с.
7. Про затвердження Вимог до харчових ароматизаторів, Вимог до харчових добавок та Вимог до харчових ензимів : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.01.2024 р. №45. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0119-24#Text>

**REFERENCES:**

1. Gui, Y., Wang, Q., Zou, J., Chen, X., Song, C. & Chen, J. (2021). From pond to table: Differences in breeding and consumption affect the balance between dietary risk of residual cadmium and uptake benefits of nutrients in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [From pond to table: Differences in breeding and consumption affect the balance between dietary risk of residual cadmium and uptake benefits of nutrients in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)]. *Food Chemistry*. 373 (1-4) [in English].
2. Sahubawa, L. & Pratomo S. A (2022). Nutritional composition and consumer preference level from hanpen fish cake based on African catfish surimi and cassava flour [Nutritional composition and consumer preference level from hanpen fish cake based on African catfish surimi and cassava flour]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. V.1. № 1. 11 p. [in English].
3. Karimidastjerd, A., Gulsunoglu-Konuskan, Z., Ersoy, B., & Khan, Z. S. (2024). Plant-based seafoods: a sustainable and nutritious alternative [Plant-based seafoods: a sustainable and nutritious alternative]. *Handbook of Plant-Based Food and Drinks Design*. pp. 167-181 [in English].
4. Pérez-Lloréns, José Lucas, Yanet Acosta & Fernando G. Brun (2021). Seafood in Mediterranean countries: a culinary journey through history [Seafood in Mediterranean countries: a culinary journey through history]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 26 (8) [in English].
5. Dien, Terri (2020). *Essential Seafood Cookbook: Classic Recipes Made Simple* [Essential Seafood Cookbook: Classic Recipes Made Simple]. Rockridge Press. 172 p [in English].
6. Lebska, T.K. (Eds.). (2021). *Tekhnolohiia ryby ta moreproduktiv* [Technology of fish and seafood]. Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
7. Pro zatverdzhennia Vymoh do kharchovykh aromatyzatoriv, Vymoh do kharchovykh dobavok ta Vymoh do kharchovykh enzymiv [On Approval of the Requirements for Food Flavours, Requirements for Food Additives and Requirements for Food Enzymes']. (2024, January 8). № 45. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy – Order of the Ministry of Health of Ukraine [in Ukrainian].

УДК 664.22/.27

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.20>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗИСТЕНТНОГО КАРТОПЛЯНОГО КРОХМАЛЮ RS3

**Кузнєцова І. В.** – докторка сільськогосподарських наук,  
старша наукова співробітниця, завідувачка відділу технології цукру,  
цукропродуктів та інгредієнтів  
Інституту продовольчих ресурсів  
Національної академії аграрних наук України  
ORCID ID: 0000-0001-8530-2099

**Касамара А. С.** – аспірантка, наукова співробітниця відділу технології цукру,  
цукропродуктів та інгредієнтів  
Інституту продовольчих ресурсів  
Національної академії аграрних наук України  
ORCID ID: 0000-0002-3557-6021

Стаття присвячена дослідженню впливу способу отримання резистентного картопляного крохмалю на показники якості. Резистентний крохмаль типу RS3 є одним з перспективних напрямів розвитку інгредієнтів для харчових технологій та завдяки властивостям даний крохмаль повільно перетравлюється, що надає йому біологічних переваг як харчових волокон для організму людини. Більш поширеним промисловими способами його отримання є термічне оброблення крохмальної суспензії. Чимало досліджень присвячено температурному обробленню саме крохмалю, кількості циклів нагрівання і охолодження. Доведено, що застосування декількох циклів нагрівання й охолодження збільшує ступінь ретроградації крохмалю. Водночас мало уваги приділяється дослідженню його властивостей, що розкривають перспективність даного продукту для харчової галузі.

Досліджували якість резистентного крохмалю, отриманого за різними способами: температурного оброблення крохмальної суспензії, температурного оброблення крохмалю та двоциклічного температурного оброблення крохмалю. За показниками якості такими як водо- та маслоглинальні здатності, набухання та розчинність крацім є зразок, отриманий температурним обробленням крохмальної суспензії, такий зразок має краці розчинність і найменше утворює каламутність в розчині. Оцінюючи якість зразків резистентного крохмалю, відмічено, що температурне оброблення крохмалю сприяє утворенню каламутності в рідких харчових системах і тим більше чим більше циклічність температурного оброблення. Проте, збільшення рівня температурного оброблення збільшує показник резистентності крохмалю та сприяє утворенню більш міцніших зв'язків «зшитих» вуглеводних систем, що проявляють добре підчас драглеутворення. За двоциклічного нагрівання отриманий зразок крохмалю має найбільшу міцність драглю. Таким чином, при двоциклічному нагріванні крохмалю отримують резистентний крохмаль типу RS3, що має гарні органолептичні і фізико-хімічні властивості, та краці показники резистентності і міцність драглю.

**Ключові слова:** часточки, суспензія, крохмаль, резистентність, температурне оброблення.

### **Kuznietsova I. V., Kasamara A. S. Research of resistant potato starch RS3**

The article is devoted to the study of the impact of the method obtaining resistant potato starch on quality indicators. Resistant starch of the RS3 type is one of promising areas development ingredients for food technologies, and thanks to the properties of this starch, it is slowly digested, which gives it biological advantages as a dietary fiber for the human body. The most common industrial method of its production is heat treatment of starch suspension. A lot of research is dedicated to the temperature treatment of starch itself, the number of heating and cooling cycles. It proven that the application several cycles heating and cooling increases the degree retrogradation starch. At the same time, little attention paid to the study properties, which reveal the prospects of this product for the food industry.

*The quality of resistant starch obtained by various methods studied temperature treatment starch suspension, temperature treatment starch and two-cycle temperature treatment of starch. According to quality indicators, such as water- and oil-absorbing abilities, swelling and solubility, the sample obtained by temperature treatment starch suspension is the best. Such a sample has better solubility and creates the least turbidity in the solution. Evaluating starch samples orestisted quality, noted, that the temperature treatment of starch contributes to the reduction of turbidity in liquid food systems, and the more the temperature treatment cycles. However, an increase in the level temperature treatment increases the resistance index starch and contributes to the formation smaller bonds "cross-linked" carbohydrate systems, which manifest themselves well during gelatinization. During two-cycle heating, the obtained starch sample has the highest gelling strength. Thus, during two-cycle heating starch, resistant starch the RS3 type obtained, which has good organoleptic and physicochemical properties, and better indicators resistance and jelly strength.*

**Key words:** particles, suspension, starch, resistance, temperature treatment.

**Постановка проблеми.** Виробництво резистентного крохмалю (ПК/RS) є одним з перспективних напрямів розвитку інгредієнтів для харчових технологій. Резистентний крохмаль за властивостями поділяється на п'ять груп та міститься як у фруктах і овочах, так і є одним з інгредієнтів для виробництва харчових продуктів. За своїми властивостями резистентний крохмаль повільно перетравлюється [1, 2], ніж звичайний крохмаль, що дає біологічні переваги як харчових волокон для організму людини. Споживання резистентного крохмалю, що міститься в харчових продуктах для кожної країни є різним. У більшості європейських країнах його споживання становить 3,2–5,7 г/день [3], а наприклад, для італійців близько 8,5 г/день [4].

**Аналіз останніх досліджень.** Для виготовлення резистентного крохмалю використовувалися різні методи: термічне оброблення крохмалю або суспензії, хімічну модифікацію, ферментативне розгалуження, температурно-циклічну ретроградацію та опромінення [5]. Більш поширеним промисловими способами є термічне оброблення крохмальної суспензії [6]. Водночас перспективним є застосування способу термічного оброблення крохмалю з наступним його охолодженням. Це призводить до часткової ретроградації крохмальних гранул та утворення розпушеної структури. Вважається [7], що застосування декількох циклів нагрівання й охолодження збільшує ступінь ретроградації крохмалю [6]. Для повноти оцінки способу термічного оброблення важливим є здійснити аналіз показників якості отриманих видів резистентного крохмалю.

**Метою роботи** є дослідження показників якості отриманих зразків резистентного картопляного крохмалю групи RS3.

**Методи досліджень.** Дослідження проводили у відділі технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів Інституту продовольчих ресурсів НААН. Отримували зразки резистентного картопляного крохмалю:

**Дослід 1.** Готували крохмальну суспензію з картопляного крохмалю концентрацією 35%. Здійснювали двоциклічне нагрівання з охолодженням за температур: 120 → 60 → 120 → 60 °С. Отриманий резистентний крохмаль нарізали, висушували, подрібнювали на лабораторному млині та просіювали через капронове сито з діаметром отворів <0,2 мм (зразок 1).

**Дослід 2.** Здійснювали температурне оброблення картопляного крохмалю з наступним охолодженням двома способами: а – нагрівання 120 °С та охолодження до 60 °С; б – двоциклічне нагрівання до 120 °С, охолодження до 60 °С, нагрівання до 120 °С та охолодження до 60 °С. Отримані зразки (зразки 2а і 2б) резистентного крохмалю просіювали через капронове сито з діаметром отворів <0,2 мм.

Основними показниками якості є: вологість і рН [8], водопоглинальну здатність [9], маслопоглинальну здатність [9], набухаючу здатність [9], індекс розчинності

[9], ступінь прозорості [9], резистентність [10], проба на желюючу здатність [15]. Контрольний зразок – нативний крохмаль картопляний. Міцність драглів визначали на Penetrometer condroller Mk.V.Seta-matic. Дослідження проводили у трократній повторюваності.

**Основні результати досліджень.** Отримані різними способами зразки резистентного картопляного крохмалю за зовнішньому виглядом відповідають вимогам ДСТУ 4380:2005 і мають білий колір, без сторонніх запахів, смак властивий крохмалю.

Основні показники якості зразків резистентного картопляного крохмалю представлено в таблиці 1. Дослідження показали [11, 12], що збільшення температури процесу призводить до зміни структури крохмалю і за вищих температур (120 або 130°C) утворюються більш міцніші структури за рахунок руйнування водневих зв'язків.

Відповідно, це впливає на властивості отриманих зразків резистентного картопляного крохмалю (табл. 1). Зокрема, показник водопоглинальної здатності зростає при температурному обробленні, і переважно для зразку 1 та зразку 2б.

Таблиця 1  
**Властивості резистентного картопляного крохмалю (p = 0,05, n=3)**

Параметр	Контроль	Дослідний зразок		
		Зразок 1	Зразок 2а	Зразок 2б
Масова частка вологи, %	9,8	7,7	7,2	7,0
pH	6,5	6,5	6,5	6,5
Водопоглинальна здатність, г/г	1,68	1,92	1,76	1,79
Маслопоглинальна здатність, г/г	1,09	1,13	1,10	1,11
Показник розчинності, г/г	0,124	0,191	0,185	0,180
Набухаюча здатність, г/г	3,25	5,14	5,04	5,10
Ступінь прозорості, %	1,77	1,65	1,65	1,69
Резистентність (в перерахунку на СР), %	14,4	52,9	65,3	68,2

Це відбувається внаслідок зростання утвореної кількості простих сахарів. Більшу маслопоглинальну здатність виявляють отримані зразки 1 і 2 б, що свідчить про утворення більшої кількості вільних зв'язків після температурного оброблення. Це підтверджує результати досліджень з таких показників як показник розчинності та набухання. При чому дані показники мають вище значення в зразках резистентного крохмалю із більш «м'якими» умовами температурного оброблення. Зокрема, застосування двоциклічного нагрівання крохмалю дещо знижує значення цих показників, особливо показника розчинності. Це свідчить про те, що приготуванні розчинів зразок 2б буде виявляти більшу каламутну здатність, що впливатиме на показник ступеня прозорості. Таким чином, за показниками якості отримані зразки резистентного крохмалю переважають за нативний. Проте, спосіб проведення ретроградації істотно впливає на їхні властивості, і відповідно, рекомендації для подальшого застосування. Зокрема, зразок 1 може застосовуватись як стабілізатор рідкої харчової системи. В той же час, як зразок 2а може застосовуватись як для рідких так і не рідких харчових систем. З точки зору основного показника якості – резистентності, зразок 2 а є кращим, ніж зразок 1. Найвищий показник резистентності має зразок 2б (68,2%), водночас такі показники



як прозорість і розчинність свідчать про застосування цього зразку у виробництві не рідких харчових продуктів.

Аналізуючи отримані зразки крохмалю RS3, слід відмітити їхню задовільну драглеутворювальну здатність (табл. 2).

Таблиця 2

**Вплив способу отримання крохмалю резистентного на міцність драглю**  
( $p = 0,05, n=3$ )

Найменування	Міцність крохмальних драглів, г/см	
	поверхнєве натискання	руйнування драглю
Зразок 1	205	270
Зразок 2а	210	310
Зразок 2б	220	315

Якщо при поверхневому натисканні значення міцності є близьким для усіх зразків, то при повному руйнуванні структури драглю більш міцнішим є при двоциклічному температурному обробленні. Найбільш слабку міцність драглеутворюючої здатності має крохмаль, отриманий шляхом температурного оброблення крохмальної суспензії.

Отже, температурне оброблення крохмалю сприяє утворенню більш міцніших зв'язків «зшитих» вуглеводних систем, що проявляються добре під час драглеутворення. Зокрема, міцність драглів більшу мають зразки 2а і 2б.

**Висновки.** Показано, що спосіб температурного оброблення має значний вплив на показники якості готового резистентного крохмалю типу RS3. Найвищі показники водопоглинальної здатності, маслопоглинальної здатності, показник розчинності та набухаючу здатність виявляє зразок, отриманий шляхом температурного оброблення крохмальної суспензії. Водночас, спосіб температурного оброблення крохмалю сприяє підвищенню резистентності продукту та міцність драглів крохмалю. Аналіз результатів досліджень дозволяє рекомендувати отримані зразки резистентного картопляного крохмалю у виробництві рідких та не рідких харчових продуктів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Englyst N., Trowell H., Southgate D.A., Cummings J.H. Dietary fiber and resistant starch. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1987. Vol. 46. Issue 6. P. 873-874.
2. Haralampu S.G. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS<sub>3</sub>. *Carbohydrate Polymers*. 2000, Vol.41. Issue 3. P. 285-292.
3. Dysseler P., Hoffem D. Estimation of resistant starch intake in Europe. In *Proceedings of the Concluding Plenary Meeting of EURESTA. European Flair-Concerted Action № 11 (COST 911)*, ed. N-G Asp, JMM van Amelsvoort & JGAJ Hautvast. 1997, P. 84–86.
4. Brighenti F., Casiraghi C., Baggio C. Resistant starch in the Italian diet. *Br. J. Nutr.* 1998, Vol. 80. P. 333–341.
5. Ashwar B.A., Gani A., Wani I. A., Shah A., Masoodi F.A., Saxena D.C. Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*. 2016, Vol. 56. P. 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.004>.
6. Morris V.J. Starch gelation and retrogradation. *Trends in Food Science & Technology*. 1990, Vol. 1. P. 2–6.
7. Sun S., Sun Z., Saleh A. S., Zhao K., Ge S., Shen H., Li V. Understanding the granule, block, crystal and molecular structure of normal and waxy A- and B-starch granules of wheat. *Food hydrocolloids*. 2021, Vol. 121. P. 1070. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107034>

8. ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Загальні технічні умови. [чинний від 2005.02.28] – Київ: ДЕРЖСПОЖИВСАНДАРТ УКРАЇНИ. 2006. – 15 с.
9. Tan H., Watanabe K., Mitsunaga T. Structure and functionality of large, medium and small starch granules in normal and waxy endosperm of barley. *Hydrocarbon Polymers*. 2002, Vol. 49(2), P. 217–224.
10. AOAC Official Method 991.43. Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Foods. – 5 с.
11. Varatharajan V., Hoover R., Li J., Vasanthan T., Nantanga K.K.M., et al. Impact of structural changes due to heat-moisture treatment at different temperatures on the susceptibility of normal and waxy potato starches towards hydrolysis by porcine pancreatic alpha amylase. *Food Res. Int.* 2011, Vol. 44. P. 2594–2606.
12. Кузнєцова І. В., Хомічак Л. М., Пазюк В. М., Касамара А. С. Дослідження способу «відпалу» крохмалю в процесі отримання резистентного крохмалю. Тези міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний розвиток харчової індустрії». 27 листопада 2023 року. Інститут продовольчих ресурсів НААН. 2023. С. 69–71. <https://drive.google.com/file/d/1eIM8WgpQ42ETh7RLIKwg-1hli64L1qTn/view>

#### REFERENCES:

1. Englyst N, Trowell H, Southgate D A, Cummings J H. (1987). Dietary fiber and resistant starch. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 46, Issue 6. P. 873–874.
2. Haralampu S.G. (2000). Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS<sub>3</sub>. *Carbohydrate Polymers*. Vol.41, Issue 3. P. 285–292.
3. Dysseler P., Hoffem D. (1994). Estimation of resistant starch intake in Europe. In *Proceedings of the Concluding Plenary Meeting of EURESTA. European Flair-Concerted Action no. 11 (COST 911)*, ed. N-G Asp. JMM van Amelsvoort & JGAJ Hautvast. P. 84–86.
4. Brighenti F, Casiraghi C., Baggio C. (1998). Resistant starch in the Italian diet. *Br. J. Nutr.* Vol. 80. P. 333–341.
5. Ashwar B. A., Gani A., Wani I. A., Shah A., Masoodi F.A., Saxena D.C. (2016). Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. *Food Hydrocolloids*. Vol. 56, P. 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.004>
6. Morris V.J. (1990). Starch gelation and retrogradation. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 1. P. 2–6.
7. Sun S., Sun Z., Saleh A. S., Zhao K., Ge S., Shen H., Li V. (2021). Understanding the granule, block, crystal and molecular structure of normal and waxy A- and B-starch granules of wheat. *Food hydrocolloids*. Vol. 121. P. 1070. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107034>
8. DSTU 4380:2005. [SNSU]. Krokhmal modyfikovanyi. Zahalni tekhnichni umovy. [Modified starch. General technical conditions] [chynnyy vid 2005.02.28]. Kyiv: DERZhSPOZhYVSANDART UKRAINY. [Kyiv: STATE OF CONSUMER SANDART OF UKRAINE] 2006. – 15 s. [in Ukrainian].
9. Tan H., Watanabe K., Mitsunaga T. (2002). Structure and functionality of large, medium and small starch granules in normal and waxy endosperm of barley. *Hydrocarbon Polymers*. Vol. 49(2). P. 217–224.
10. AOAC Official Method 991.43. Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fibre in Foods. – 5 с.
11. Varatharajan V, Hoover R, Li J, Vasanthan T, Nantanga KKM, et al. (2011). Impact of structural changes due to heat-moisture treatment at different temperatures on the susceptibility of normal and waxy potato starches towards hydrolysis by porcine pancreatic alpha amylase. *Food Res. Int.* Vol. 44. P. 2594–2606.
12. Kuznietsova I. V., Khomichak L. M., Paziuk V. M., Kasamara A. S. (2023) Doslidzhennia sposobu «vidpalu» krokhmalu v protsesi otrymannia rezystentnoho krokhmalu [Research on the method of "annealing" starch in the process of obtaining resistant starch]. Tezy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Innovatsiynyy rozvytok kharchovoi industrii. November 27, 2023. Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences. P. 69–71. <https://drive.google.com/file/d/1eIM8WgpQ42ETh7RLIKwg-1hli64L1qTn/view> [in Ukrainian].

УДК 664.658.34

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.21>

## АНАЛІЗ СИРОВИНИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ДІЄТИЧНОЇ КОВБАСИ З ІНДИЧКИ З ДОДАВАННЯМ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**Новікова Н. В.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри харчових технологій  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

**Проценко Г. Ю.** – здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0009-0002-9934-8797

У статті розглянуто актуальну проблему сучасної м'ясопереробної промисловості, зокрема надмірне використання насичених жирів і добавок у традиційних ковбасних виробах, що може негативно впливати на здоров'я споживачів. Стандарти ковбаси часто містять високий рівень калорій, жиру та харчових добавок, що сприяє розвитку хронічних захворювань, таких як ожиріння, серцево-судинні захворювання та діабет. У відповідь на зростаючий попит на здорові та дієтичні продукти, метою дослідження стало створення ковбасного виробу на основі м'яса індички, що має високу харчову цінність та знижений рівень калорій.

Основною ідеєю є поєднання м'яса індички з додаванням рослинної сировини, зокрема броколі, що забезпечує продукту функціональні властивості. М'ясо індички є джерелом легкозасвоюваного білка з низьким вмістом жиру, а броколі містить велику кількість вітамінів, мінералів, антиоксидантів і клітковини, які позитивно впливають на травну систему та загальний стан здоров'я. Завдяки цьому, розроблена дієтична ковбаса є ідеальним продуктом для споживачів, які прагнуть підтримувати здоровий спосіб життя, контролювати вагу та знижувати ризик виникнення захворювань, пов'язаних із неправильним харчуванням.

Розробка рецептури включає аналіз якості м'яса індички, характеристик броколі, їх поживних властивостей, а також оптимізацію процесу виробництва з метою збереження всіх корисних речовин та досягнення збалансованого смаку продукту. Додатково досліджено технологічні процеси, необхідні для забезпечення тривалого зберігання ковбаси без використання шкідливих консервантів, завдяки природним властивостям броколі та інших натуральних інгредієнтів.

Таким чином, у статті представлено результати дослідження, яке демонструє можливість використання рослинної сировини для підвищення біологічної цінності ковбасних виробів та їх оздоровчих властивостей. Продукт, розроблений на основі м'яса індички та броколі, відповідає вимогам сучасного споживача, оскільки поєднує високу харчову цінність, привабливі смакові якості та знижений вміст калорій, що робить його важливим кроком у напрямку розвитку здорового харчування.

**Ключові слова:** дієтична ковбаса, м'ясо індички, рослинні добавки, броколі, низька калорійність, харчові волокна, збалансоване харчування.

**Novikova N. V., Proscenko G. Yu. Analysis of raw material for development turkey-based dietary sausage with the addition of plant-based ingredients**

The article addresses a current issue in the modern meat processing industry, particularly the excessive use of saturated fats and additives in traditional sausage products, which can negatively impact consumer health. Standard sausages often contain high levels of calories, fat, and food additives, contributing to the development of chronic diseases such as obesity, cardiovascular disease, and diabetes. In response to the growing demand for healthy and dietary products, the aim of this research was to develop a sausage product based on turkey meat, which has high nutritional value and a reduced calorie content.

The main idea is to combine turkey meat with the addition of plant-based ingredients, specifically broccoli, which provides the product with functional properties. Turkey meat is a source of easily digestible protein with a low fat content, while broccoli contains a large amount of vitamins, minerals, antioxidants, and fiber that positively affect the digestive system and overall

health. As a result, the developed dietary sausage is an ideal product for consumers who strive to maintain a healthy lifestyle, control their weight, and reduce the risk of diseases associated with improper nutrition.

The recipe development includes an analysis of the quality of turkey meat, the characteristics of broccoli, their nutritional properties, as well as the optimization of the production process to preserve all beneficial nutrients and achieve a balanced taste. Additionally, technological processes necessary to ensure the long-term storage of the sausage without the use of harmful preservatives were studied, utilizing the natural properties of broccoli and other natural ingredients.

Thus, the article presents research results demonstrating the possibility of using plant-based ingredients to enhance the biological value and health benefits of sausage products. The product, developed based on turkey meat and broccoli, meets the needs of modern consumers by combining high nutritional value, appealing taste, and reduced calorie content, making it an important step toward the development of healthy eating.

**Key words:** dietary sausage, turkey meat, plant-based additives, broccoli, low calorie content, dietary fiber, balanced nutrition.

**Вступ.** На сьогоднішній день серед харчових продуктів великою популярністю користуються продукти, що мають збалансований склад та забезпечують здорове харчування. Традиційні ковбасні вироби, які містять високий вміст жирів і калорій, часто вважаються шкідливими для організму, особливо при тривалому їх споживанні. Саме тому актуальною є розробка дієтичних ковбасних виробів, що містять низький вміст жиру, але зберігають високу харчову цінність.

Індичка відома своїм багатим вмістом білка, який є основою для зростання та розвитку м'язів, а також низьким вмістом жиру, що робить її одним з найбільш корисних видів м'яса для споживання. Однак для збільшення корисних властивостей та підвищення харчової цінності дієтичної ковбаси пропонується додавати до неї рослинну сировину, зокрема броколі. Броколі є джерелом багатьох корисних речовин, включаючи вітаміни С, К, А, харчові волокна, антиоксиданти, що робить цей овоч ідеальним доповненням до м'ясних продуктів, орієнтованих на здорове харчування.

**Актуальність теми.** З огляду на сучасні потреби суспільства у збалансованому та здоровому харчуванні, виникає необхідність у розробці продуктів, які поєднують у собі високу харчову цінність, знижену калорійність та позитивний вплив на організм. Ковбасні вироби є важливою частиною раціону багатьох людей, але більшість традиційних ковбас містить високу кількість жирів, що негативно впливає на здоров'я, зокрема може сприяти розвитку ожиріння, серцево-судинних захворювань та інших хвороб.

Розробка дієтичної ковбаси на основі індички з додаванням броколі є актуальною з кількох причин. По-перше, індичка є чудовим джерелом білка, що є основним будівельним матеріалом для клітин і тканин організму. По-друге, броколі є багатим джерелом антиоксидантів і вітамінів, що мають важливе значення для підтримки імунної системи та загального здоров'я. Крім того, броколі містить клітковину, яка сприяє нормалізації травлення, знижує ризик розвитку діабету та серцевих захворювань.

**Постановка проблеми.** Сучасна харчова промисловість стикається з численними викликами, одним із яких є забезпечення населення якісними та корисними продуктами, які відповідають зростаючим вимогам до здорового харчування. Традиційні ковбасні вироби, які є одним із найпопулярніших видів харчової продукції, часто містять високий вміст насичених жирів, харчових добавок, солі та консервантів. Це спричиняє занепокоєння серед споживачів, які все більше прагнуть зменшити споживання шкідливих компонентів та перейти на більш здоровий раціон. У зв'язку

з цим, виникає потреба у розробці нових видів ковбасних виробів з поліпшеними властивостями, які б відповідали сучасним вимогам до дієтичного харчування.

Проблема полягає не лише в високому вмісті жирів та калорій, але й у недостатній кількості вітамінів, мінералів та інших корисних речовин у ковбасних виробках. Більшість традиційних ковбас містять мало харчових волокон і практично не забезпечують організм важливими мікроелементами. Тому споживання таких продуктів, особливо в умовах сидячого способу життя, призводить до накопичення зайвих калорій, підвищення рівня холестерину та розвитку хронічних захворювань, таких як ожиріння, цукровий діабет і серцево-судинні захворювання.

Серед зовнішніх факторів, що впливають на здоров'я людини, вирізняються погіршення екологічних умов, малорухливий спосіб життя та неправильне харчування, яке базується на надмірному споживанні продуктів, багатих на насичені жири та шкідливі добавки. Відсутність у раціоні достатньої кількості клітковини, антиоксидантів, вітамінів і мікроелементів стає основним чинником розвитку дефіциту корисних речовин в організмі, що негативно впливає на загальний стан здоров'я та імунну систему.

Окрім цього, сучасні споживачі все більше звертають увагу на функціональні властивості продуктів харчування. Вони прагнуть отримувати продукти, які не лише задовольняють потребу в їжі, але й сприяють підтримці здоров'я, підвищенню імунітету та поліпшенню загального самопочуття. Це ставить перед виробниками завдання розробки продуктів, які відповідали б цим вимогам, одночасно забезпечуючи зниження калорійності та покращення харчової цінності.

Враховуючи ці фактори, актуальним є створення нових видів ковбасних виробів, які б поєднували високу харчову цінність, низьку калорійність та великий вміст корисних речовин.

**Мета дослідження.** Метою цього дослідження є розробка технології виробництва дієтичної ковбаси на основі м'яса індички з додаванням броколі. Основна увага приділяється аналізу можливостей використання броколі для зниження калорійності продукту, збільшення вмісту вітамінів і мінералів та покращення загальних харчових властивостей ковбаси.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останні наукові дослідження у сфері харчової промисловості свідчать про зростаючий інтерес до розробки дієтичних продуктів, зокрема м'ясних виробів, що поєднують у собі високу харчову цінність та корисні властивості. Вчені продовжують вивчати вплив рослинних компонентів на якість м'ясних продуктів, їх органолептичні характеристики та поживну цінність. Одним із ключових аспектів таких досліджень є пошук способів зниження калорійності та жирового складу ковбас, зберігаючи при цьому високу кількість білків та інші важливі для здоров'я речовини.

Науковці, такі як Іванов І. П., Коваленко О. М., та Петров В. С., проводили дослідження щодо впливу рослинних компонентів на покращення хімічного складу та зниження енергетичної цінності ковбасних виробів [3; 5]. Вони дійшли висновку, що додавання овочевих компонентів, таких як броколі, до ковбас знижує калорійність продукту, підвищує вміст антиоксидантів та інших корисних речовин, що сприяють покращенню загального стану здоров'я споживачів.

Драчева Л. В. вивчала можливість збагачення м'ясних продуктів харчовими волокнами та антиоксидантами за допомогою рослинних компонентів, таких як броколі та інші овочі. Її дослідження показали, що овочі, завдяки своїм природним властивостям, допомагають знизити рівень шкідливих жирів та покращити засвоюваність продукту організмом [1].

Крім того, в роботах Добровольського В. Ф. досліджувалося використання овочевих компонентів у дієтичних м'ясних продуктах для збагачення їх вітамінами та мікроелементами. Його дослідження підтверджують, що додавання таких овочів, як броколі, значно підвищує вміст вітамінів С, К і антиоксидантів у кінцевому продукті, покращуючи його функціональні властивості та харчову цінність [8].

Також, Дудкін М. С. та Щелкунов Л. Ф. [2] проводили дослідження, спрямовані на пошук інноваційних технологій виробництва м'ясних продуктів із включенням овочевих компонентів, що не тільки знижує калорійність, але й забезпечує кращу засвоюваність ковбасних виробів та покращення смакових характеристик.

Таким чином, аналіз останніх досліджень вказує на те, що використання рослинної сировини, зокрема броколі, у поєднанні з м'ясом індички є перспективним напрямом у розробці дієтичних ковбас. Такий підхід дозволяє знижувати калорійність продукту, зберігаючи при цьому його високу харчову цінність, що підтверджується дослідженнями вітчизняних та зарубіжних науковців.

**Виклад основного матеріалу.** Розробка дієтичної ковбаси з використанням м'яса індички та броколі вимагає детального вивчення кожного компонента, його поживних властивостей та технологічних характеристик. Метою цієї роботи є створення продукту, який забезпечував би високу харчову цінність, був корисним для організму, але водночас мав знижений вміст калорій та жирів [4].

Основним м'ясним інгредієнтом у даному випадку є м'ясо індички. Це один із найбільш поживних і водночас дієтичних видів м'яса. Індичка містить високий рівень білка – до 24% у залежності від частини туші, що робить її чудовим джерелом цього макроелемента для організму. Білок індички містить усі необхідні амінокислоти, які не синтезуються в організмі, тому особливо важливо вживати цей продукт у раціоні. Окрім цього, м'ясо індички має низький вміст жиру – приблизно 1–2%, що робить його оптимальним для дієтичного харчування (Рис. 1).

Білок індички легко засвоюється організмом і сприяє росту та відновленню м'язової тканини, що робить цей продукт важливим для людей, які займаються спортом або стежать за своєю фізичною формою. Крім того, м'ясо індички є джерелом багатьох важливих вітамінів та мінералів, таких як вітаміни групи В (В6 і В12), які підтримують нормальну роботу нервової системи, а також залізо, цинк і фосфор, що є важливими для кровотворення і зміцнення кісток.

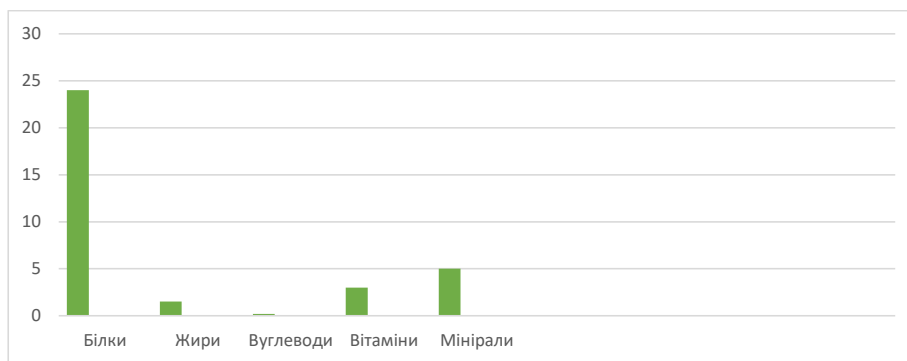


Рис. 1. Хімічний склад м'яса індички

Одним із ключових інгредієнтів розробленої дієтичної ковбаси є броколі. Броколі – це овоч, який є надзвичайно корисним для здоров'я завдяки високому вмісту вітамінів, мінералів та антиоксидантів. Зокрема, броколі містить велику кількість вітаміну С (89,2 мг на 100 г продукту), який є потужним антиоксидантом і допомагає зміцнювати імунну систему, захищаючи організм від різних захворювань. Окрім цього, броколі багата на вітамін К (101,6 мкг на 100 г) [7], який відіграє важливу роль у підтримці здоров'я кісток та нормальної згортання крові (Рис. 2).



Рис. 2. Хімічний склад броколі

Також слід відзначити високий вміст клітковини у броколі – приблизно 2,6 г на 100 г продукту. Харчові волокна є важливими для нормального функціонування шлунково-кишкового тракту. Вони сприяють поліпшенню травлення, попереджають закрепи та підтримують здорову мікрофлору кишечника. Завдяки високому вмісту клітковини ковбаса з додаванням броколі матиме не лише приємний смак, але й допоможе нормалізувати обмін речовин і знизити ризик виникнення серцево-судинних захворювань. Клітковина також допомагає контролювати рівень глюкози в крові, що робить продукт корисним для людей, які стежать за рівнем цукру або страждають на діабет [4].

Крім того, броколі є джерелом важливих антиоксидантів, таких як сульфорафан, які допомагають знизити рівень оксидативного стресу в організмі та захищають клітини від ушкоджень. Це може сприяти зменшенню ризику розвитку онкологічних захворювань та підтримці здоров'я на клітинному рівні. Поєднання м'яса індички та броколі дозволяє створити продукт, який є одночасно поживним і корисним для здоров'я, що є важливим для сучасних споживачів.

Хімічний склад індички та броколі доповнюють один одного, створюючи ідеальну комбінацію для дієтичної ковбаси. Індичка забезпечує ковбасу високоякісним білком, який важливий для росту м'язової маси та відновлення тканин, тоді як броколі додає вітаміни, мінерали та антиоксиданти, які покращують загальний стан здоров'я та підтримують імунітет. Важливо також зазначити, що обидва компоненти є низькокалорійними, що дозволяє створити продукт з низьким вмістом енергії, але високою біологічною цінністю [3].

Додатково до основних інгредієнтів – м'яса індички та броколі – у рецептурі дієтичної ковбаси використовується ряд допоміжних компонентів, які забезпечують належну текстуру та смакові якості продукту. Наприклад, яйця додаються для покращення текстури ковбаси, оскільки вони є природним джерелом емульгаторів, що допомагають поєднувати м'ясо та рослинні компоненти в однорідну масу. Яйця також є додатковим джерелом білка та жирів, які необхідні для забезпечення правильної структури виробу.

Сіль використовується для підсилення смаку продукту, а також відіграє важливу роль у збереженні ковбаси протягом тривалого часу. Соняшникова олія додається у невеликих кількостях для поліпшення смакових якостей продукту та забезпечення ковбаси корисними ненасиченими жирами, які сприяють зниженню рівня холестерину в крові.

Таблиця 1

**Вимоги до якості сировини для виготовлення дієтичної ковбаси з індички з броколі**

Найменування сировини	Вимоги до якості сировини
М'ясо індички	ДСТУ 4427:2005
Броколі	ДСТУ 5030:2008
Яйця	ДСТУ 5028 : 2008
Сіль	ДСТУ 3583:2015
Олія соняшникова	ДСТУ 4492:2017

Технологічний процес виготовлення дієтичної ковбаси з індички з додаванням броколі включає кілька ключових етапів, які спрямовані на збереження всіх корисних властивостей інгредієнтів і забезпечення належної якості кінцевого продукту. Перш за все, м'ясо індички піддається подрібненню до необхідної консистенції. Одним із важливих етапів є вибір правильного режиму подрібнення, оскільки занадто дрібна або занадто велика фракція м'яса може негативно вплинути на текстуру ковбаси.

Броколі перед додаванням до ковбаси проходить процес бланшування для збереження його поживних властивостей і поліпшення органолептичних характеристик. Після бланшування броколі також подрібнюється до необхідної консистенції. Потім подрібнені інгредієнти змішуються разом з яйцями, сіллю та іншими добавками для створення однорідної маси.

Однією з важливих складових процесу є термічна обробка ковбаси, яка повинна бути виконана таким чином, щоб не втратити корисні речовини броколі та зберегти ніжну текстуру м'яса індички. Термічна обробка повинна проводитися при помірних температурах для запобігання руйнуванню вітамінів та інших чутливих до температури речовин.

Таким чином, правильно підібрані інгредієнти та технологічні процеси дозволяють створити дієтичну ковбасу з індички з додаванням броколі, яка відповідає вимогам сучасного здорового харчування

**Висновки.** В ході дослідження було встановлено, що додавання броколі до дієтичної ковбаси з індички дозволяє значно знизити калорійність продукту та підвищити його харчову цінність. Така ковбаса може бути рекомендована як для людей, які дотримуються здорового способу життя, так і для тих, хто прагне знизити споживання калорій та насичених жирів. Використання рослинної сировини в поєднанні з м'ясом індички відкриває нові можливості для створення корисних і смачних продуктів харчування.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Драчева Л.В. Біологічно активні добавки в м'ясних продуктах. *Харчова промисловість*. 2006. № 11. С. 56.
2. Дудкін М.С., Щелкунов Л.Ф. Технологія харчових продуктів. *Харчова промисловість*. 2010. № 3. С. 36-38.



3. Іванов І.П. Технологія виробництва м'ясних продуктів. Київ: Освіта, 2010. 168 с.
4. Карпенко П.О. Вплив нетрадиційної сировини на якість ковбасних виробів. *Харчова наука і технологія*. 2019. № 7. С. 30-35.
5. Коваленко О.М. Вплив овочевих добавок на якість м'ясних виробів. *Харчові технології*. 2018. № 8. С. 45-50.
6. Корзун В.Н. Вдосконалення рецептури ковбасних виробів з використанням рослинних добавок. *Наукові праці*. 2017. № 2. С. 27-31.
7. Новікова Н.В., Пелих Н.Л., Вогнівенко Л.П. Властивості та показники якості ковбасних виробів. *Таврійський науковий вісник: науковий журнал (технічні науки)*. Херсон, 2023. Вип. 5. С. 132-138.
8. Петров В.С. Використання рослинної сировини в м'ясній промисловості. *Харчова промисловість*. 2015. № 6. С. 15-20.

#### REFERENCES:

1. Dracheva L.V. (2006) Biologically active additives in meat products. *Kharchova's craftiness*. No. 11. P. 56.
2. Dudkin M.S. & Shchelkunov L.F. (2010) Technology of grub products. *Kharchova's craftiness*. No. 3. pp. 36-38.
3. Ivanov I.P (2010). Technology for the production of meat products. Kiev: Osvita.168 p.
4. Karpenko P.O. (2019) Infusion of non-traditional syringe onto the berries of the cow sparrows. *Kharchova science and technology*. No. 7. pp. 30-35.
5. Kovalenko O.M. (2018) Infusion of vegetable additives into the tenderness of meat products. *Kharcho technologies*. No. 8. pp. 45-50.
6. Korzun V.N. (2017) In-depth recipes for beef vegetables with vikoristannyh roslinnyh additives. *Science praci*. 2017. No. 2. pp. 27-31.
7. Novikova N.V. & Pelikh N.L., Vognivenko L.P. (2023) Authorities and displays of the scourge of cow-breeding viruses. *Taurian scientific journal: scientific journal (technical sciences)*. Kherson, pp. 132-138.
8. Petrov V.S. (2015) The use of rosemary in the meat industry. *Kharchova's craftiness*. No. 6. pp. 15-20.

УДК 641.55

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.22>

## УДОСКОНАЛЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ХОЛОДНИХ ЗАКУСОК НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

**Паєлюченко О. С.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-8742-4150

**Ганзій О. О.** – здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0009-0001-8140-0414

В статті наведено результати досліджень щодо удосконалення технології холодних закусок та покращення їх рецептурного складу.

Оскільки при швидкому розширенні ринку послуг ресторанного господарства з'являється все більше запитів як від відвідувачів закладів, як розширення асортименту продукції, страви, що б відповідали концепту здорового харчування та задовольняли потреби організму у поживних речовинах, так і від власників закладів ресторанного господарства, що хочуть задовольнити потреби гостей, при цьому мати можливість розширити асортимент стравами, що є доступними, універсальними, можуть зберігатися тривалий термін.

Тому у дослідженнях використовували класичну рецептуру хумусу із тахіновою пастою, що була обрана як вже досить універсальна рецептура, до котрої додавали інноваційні інгредієнти, а саме обліпихову олію, висівки конопляні та лляні.

Було обгрунтовано доцільність їх використання для вирішення виявлених проблем, в точності, покращення хімічного складу, збільшення термінів та покращення якості готової продукції, визначено поживну та біологічну цінність удосконаленої рецептури хумусу.

Удосконалення класичної рецептури хумусу з тахіновою пастою, шляхом внесення купажу обліпихової та оливкової олій, у співвідношенні 50:50, відповідно та сумішню конопляних та лляних висівків, у кількостях 25 на 75% відповідно, дозволило покращити поживну, зокрема за рахунок збільшення білків до 18,9% та клітковини до 10,1% і біологічну цінність, покращити жирно-кислотного склад, збільшити вміст вітамінів та мінеральних речовин. Внесення в рецептуру суміші конопляних та лляних висівків покращує текстуру, допомагають утримувати вологу та олію, що сприяє покращенню стійкості дисперсної системи під час зберігання.

Також представлена рецептура, особливості технології виробництва та рекомендації щодо органолептичних показників якості розробленої інноваційної страви «Хумус із тахіновою пастою з сумішню олій та висівків».

**Ключові слова:** технологія, холодні закуски, хумус, інновація, обліпихова олія, конопляні та лляні висівки.

### **Pavlyuchenko O. S., Hanziy O. O. Improvement of the assortment of cold appetizers based on plant-based ingredients for restaurant enterprises**

The article presents research results on improving cold snack technology and enhancing their recipe composition.

As the restaurant service market rapidly expands, there is a growing demand both from customers—who seek a broader selection of dishes that align with healthy eating concepts and satisfy their nutritional needs—and from restaurant owners, who want to meet guests' needs while also expanding their menu with accessible, versatile dishes that can be stored for an extended period.

The study used a classic hummus recipe with tahini as a base, chosen for its universality, and added innovative ingredients, specifically sea buckthorn oil, hemp bran, and flax bran. The feasibility of these ingredients was substantiated for addressing identified issues, particularly enhancing the chemical composition, extending shelf life, and improving the final product's quality. The study also assessed the nutritional and biological value of the enhanced hummus recipe.

*Improving the classic hummus recipe with tahini through the addition of a blend of sea buckthorn and olive oils in a 50:50 ratio and a mix of hemp and flax bran at 25% to 75%, respectively, increased its nutritional value by boosting protein to 18.9% and fiber to 10.1%. It also improved the biological value by enhancing the fatty acid composition and increasing vitamin and mineral content. Adding hemp and flax bran enhanced the texture and helped retain moisture and oil, which contributed to improved stability of the dispersed system during storage.*

*The article also provides the recipe, production technology specifics, and recommendations regarding the organoleptic quality indicators of the newly developed innovative dish, "Hummus with Tahini, Oil Blend, and Bran Mixture."*

**Key words:** *technology, cold appetizers, hummus, innovation, sea buckthorn oil, hemp and flax bran.*

**Постановка проблеми.** В умовах жорсткої конкуренції серед закладів ресторанного господарства з'являється все більше запитів, як від відвідувачів закладів, щодо розширення асортименту кулінарної продукції, яка б відповідала концепту здорового харчування, задовольняла потреби організму у поживних речовинах та мала високі органолептичні показники якості, так і від власників закладів ресторанного господарства, що хочуть задовольнити потреби гостей, при цьому мати можливість розширити асортимент продукції, що є доступною, універсальною та може зберігатися більш тривалий термін зберігання.

Тому класичну технологію холодної закуски, що вже є досить універсальною (як самостійною, так і доповненням до іншої), на прикладі хумусу з тахіною пастою, варто покращити і з боку біологічної цінності, і можливості зберігання, тобто, стійкість системи, для удосконалення її універсальності.

**Мета дослідження.** Удосконалення асортименту та технології холодних закусок на основі рослинної сировини, зокрема хумусів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині на ринку ресторанного господарства України близькосхідна кухня набирає все більшої популярності.

Хумус – холодна закуска близькосхідної кухні, яка є достатньо популярною, проста у приготуванні, складається з натуральних інгредієнтів рослинного походження, при цьому, характеризується приємними, нетрадиційними для українського споживача, смаковими властивостями, корисністю та універсальністю, адже може подаватися як самостійна холодна закуска, соус, заправка до страв або спред.

Нині проводиться досить багато досліджень щодо розширення асортименту та удосконалення технології його виробництва. До прикладу, в Україні працівники компанії з виробництва продукції з нуту ФОП «Цимбаліст» створили інноваційну продукцію – дегідрований хумус «Хумус-снеки ТМ Frango», що є енергетично цінним продуктом та не потребує спеціальних умов зберігання [1].

Колективом науковців розроблено технологію хумусу «Гарбузовий» з використанням THERMOMIX. Отриманий хумус характеризується покращеним вітамінним складом, підвищеною поживною цінністю, кращими якісними показниками та володіє вираженими функціональними властивостями в порівнянні з класичною стравою [2].

Також проводиться багато досліджень щодо удосконалення технології хумусу у вищих навчальних закладах, зокрема на кафедрі технологій ресторанної та аюрведичної продукції у НУХТ під керівництвом проф. Фролової Н.Е. проводились дослідження щодо можливості розширення аюрведичної продукції з природними рослинними джерелами [3].

Експериментально підтверджено доцільність використання хумусу в технології м'ясних рулетів. Внесення хумусу в кількості 10%, дозволяє отримати готову продукцію покращеної поживної цінності, збагачену вітамінами та мінеральними речовинами, більш соковитою текстурою та новими смаковими властивостями [4].

**Виклад основного матеріалу.** Як базову рецептуру холодної закуски було обрано класичну рецептуру хумуса з тахіною пастою (таблиця 1).

Таблиця 1

**Класична рецептура хумуса з тахіною пастою [5]**

№ з/п	Сировина	Витрати сировини в 1 на 1 кг готової продукції		Технологічні вимоги до якості сировини
		Брутто, г	Нетто, г	
1	Нут	240	544*	ДСТУ6019:2008
2	Паста тахіні	250	250	ISO 22000:2007
3	Часник	5	3	ДСТУ 3233-95
4	Лимонний сік	25	25	ДСТУ ЕЭК ООН FFV-14:2007
5	Оливкова олія	160	160	ДСТУ5065:2008
6	Сіль	4	4	ДСТУ 3583:2015
7	Перець чорний мелений	3	3	ISO 959-1(2):2008
8	Паприка мелена	4	4	ISO972:2008
Вихід			1000	

Примітка: \* – маса відвареного нуту.

Розроблено функціональну схему виробництва закуски «Хумус з тахіною пастою» (рис. 1), що складається з етапів: підготовки сировини, механічної кулінарної обробки; замочування та варіння нуту; безпосереднього приготування закуски; порціонування та оформлення готового хумусу.

Нут замочують на 2...3 год, а потім варять при температурі 100°C 1,5...2 години, спеції просіюють крізь сито, часник очищують, з лимона вичавлюють сік.

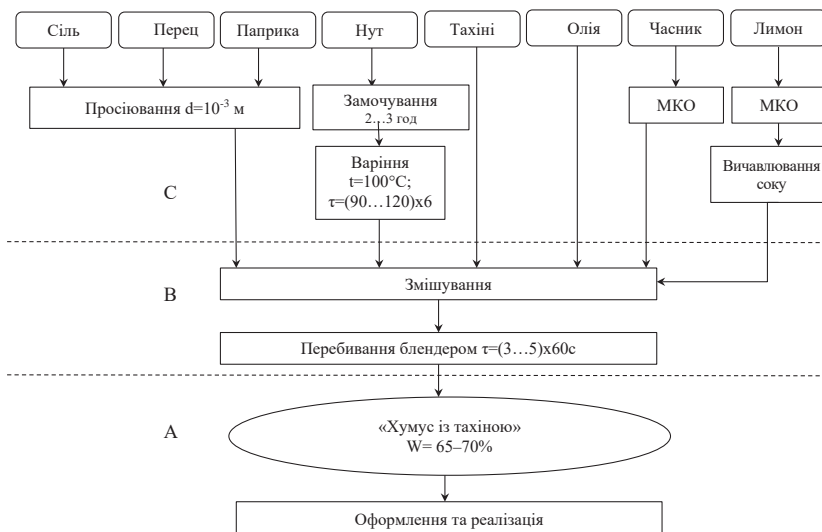


Рис. 1. Функціональна схема виробництва закуски хумус із тахіною

Підсистема В включає в себе саме приготування закуски, а саме, змішування рецептурних інгредієнтів та перебивання їх у блендері.

Підсистема А «Оформлення та реалізація холодної закуски» включає в себе процес порціонування, оформлення готового хумусу, викладання та прикрашання на тарілці. Виходом підсистеми є готова закуска «Хумус із тахіновою пастою» оформлена та готова до споживання.

Контрольний зразок – хумус з тахіновою пастою. Це поліфазна дисперсна система, оскільки має багато складових. Також система є мікрогетерогенною, а саме це суспензія. Це вільнодисперсна система.

Базова продукція, тобто хумус із тахіновою пастою, має досить багато корисних властивостей для організму та переваг, але є і кілька недоліків, що варті уваги.

Щодо структури, проблеми можуть бути із консистенцією, так як хумус часто може мати неоднорідну структуру, що може вплинути на сприйняття споживачем. Надмірно густий або, навпаки, рідкий хумус може не відповідати очікуванням.

Це може бути викликано невідповідним співвідношенням основних інгредієнтів, таких як нут та оливкова олія. Та текстурою, адже, якщо нут не був достатньо добре підготовлений (наприклад, недостатньо проварений), це може призвести до більш грубої текстури готового хумусу.

Щодо інших проблемних точок у технології хумусу з тахіновою пастою, це можуть бути:

1. Наявність алергенів та високий вміст жирів: Хоча тахінова паста є джерелом значної кількості основних нутрієнтів та біологічно активних речовин, вона є алергеном, а також значно підвищує загальний вміст жиру в готовій продукції.

2. Недостатній вміст деяких мікроелементів: Хоча хумус є гарним джерелом білка і клітковини, він може мати недостатній вміст деяких вітамінів і мінералів, таких як вітамін B<sub>12</sub>, кальцій та залізо.

3. Обмежені терміни зберігання: Хумус має відносно короткий термін зберігання навіть в охолодженому стані (+2...+6°C). Це пов'язано з високим вмістом води і наявністю свіжих інгредієнтів, які швидко псуються.

Таблиця 2

## Хімічний склад та біологічна цінність 100 грамів обліпихової олії [7]

Показник	Значення
Жири, г	99,8
Вуглеводи, г	0
Білки, г	0
Калорійність, ккал	900
Вітамін Е, мг	160...260 (до 1700% від рекомендованої добової норми)
Вітамін К, мкг	100...110 (125–140% від рекомендованої добової норми)
Вітамін А, мг (бета-каротин)	30...50
Вітамін С, мг	168
Омега-3 жирні кислоти, г	1...2
Омега-6 жирні кислоти, г	30...35
Омега-7 жирні кислоти, г	30-35
Омега-9 жирні кислоти, г	20-24

Проаналізувавши усі недоліки було прийняте рішення працювати над покращенням хімічного складу та поживної цінності, а також подовженням термінів та безпеки зберігання шляхом додавання органічних інноваційних інгредієнтів, що були б доступними та досить поширеними, простими для сприйняття споживачем.

Отже, для вирішення проблем у виготовленні та реалізації закуски «Хумус з тахіновою пастою» ми обрали 3 інгредієнта, що доповнять основну рецептуру.

Обліпихова олія є висококалорійним продуктом з високим вмістом поліненасичених жирних кислот, особливо: лінолевою (18:2 $\omega$ -6) та лінолевою (18:3 $\omega$ -3), уміст яких зазвичай становить 30–40 і 20–35% відповідно [6], що робить її цінним доповненням до раціону. Вона є природним антиоксидантом. Хімічний склад та біологічна цінність обліпихової олії наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Хімічний склад та біологічна цінність 100 грамів висівок коноплі [8]**

Показник	Значення
Білки, г	35,0
Жири, г	15,0
Вуглеводи, г	45,0
Клітковина, г	25,0
Калорійність, ккал	380
Вітамінний склад:	
Вітамін E, мг	0,8 (5% від рекомендованої добової норми)
Вітамін B <sub>1</sub> , мг	1,3 (87% від рекомендованої добової норми)
Вітамін B <sub>2</sub> , мг	0,3 (17% від рекомендованої добової норми)
Вітамін B <sub>3</sub> , мг	10 (50% від рекомендованої добової норми)
Вітамін B <sub>6</sub> , мг	0,3 (15% від рекомендованої добової норми)
Мінеральний склад, мг:	
Магній	700 (175% від рекомендованої добової норми)
Фосфор	1100 (157% від рекомендованої добової норми)
Калій	900 (25% від рекомендованої добової норми)
Залізо	10 (56% від рекомендованої добової норми)
Цинк	7 (47% від рекомендованої добової норми)

В інноваційній рецептурі обліпихова олія зіграє роль природного консерванта, що сприятиме подовженню терміну зберігання, а також покращить хімічний склад та біологічну цінність готового хумусу.

Конопляні висівки є концентрованим джерелом клітковини, містять високий вміст заліза, магнію, цинку, фосфору та вітаміну B<sub>2</sub> та B<sub>6</sub>. Хімічний склад та біологічну цінність висівок коноплі наведено у табл. 4.

Конопляні висівки сприяють очищенню та оздоровленню організму, омолодженню шкіри. Є антиоксидантом, виводять радіонукліди, мобілізують захисні сили організму, підвищують опірність до хвороб. Уповільнюють процеси старіння та покращують стан імунної системи і навіть пам'ять [9].

Лячні висівки є відмінним джерелом альфа-лінолевої кислоти (ALA), багаті на лігнани, які мають антиоксидантні та протиракові властивості, поліпшують роботу шлунку та процес травлення. Хімічний склад та біологічну цінність лячних висівок наведено у табл. 5.

Як бачимо з таблиць із хімічним складом обраних інгредієнтів (табл. 3, 4 та 5) всі вони мають різний хімічний склад та досить широкий набір вітамінів та мінералів, що доповнять класичну рецептуру та урізноманітнять її хімічний склад та біологічну цінність.

Харчові волокна, які містяться у конопляних і лляних висівках характеризуються наступними функціональними властивостями:

- висока зв'язуюча й водоутримуюча здатність – 1:3...1:7;
- ефективний загусник;
- знижує міграцію вологи із начинки в продукт;
- добрий стабілізатор;
- надає сипкість сумішам;
- збагачує продукти додатковими речовинами;
- знижує енергетичну цінність.

Таблиця 4

#### Хімічний склад та біологічна цінність 100 грамів висівок льону [8]

Показник	Значення
Білки, г	20,0
Жири, г	45,0
Вуглеводи, г	30,0
Клітковина, г	28,0
Калорійність, ккал	534
Вітамінний склад, мг:	
Вітамін Е	0,31 (2% від рекомендованої добової норми)
Вітамін В <sub>1</sub> (Тіамін)	1,64 (109% від рекомендованої добової норми)
Вітамін В <sub>6</sub>	0,47 (23% від рекомендованої добової норми)
Мінеральний склад, мг:	
Магній	392 (98% від рекомендованої добової норми)
Фосфор	642 (92% від рекомендованої добової норми)
Калій	813 (23% від рекомендованої добової норми)
Залізо	5,73 (32% від рекомендованої добової норми)
Кальцій	255 (26% від рекомендованої норми)

Таблиця 5

#### Теоретичне обґрунтування вибору інноваційних інгредієнтів для удосконалення або розроблення нової технології

Інноваційний інгредієнт	Функціонально-технологічна роль в технології виробництва продукції	Фізіологічна роль
Обліпихова олія	Збагачення хімічного складу, подовження термінів зберігання.	Збагачення вітамінного складу страви, смаковими, ароматичними властивостями, подовження терміну зберігання.
Харчові волокна (висівки) коноплі	Покращення консистенції, подовження термінів зберігання, збагачення хімічного складу	Збагачення поживної та біологічної цінності, покращення консистенції
Харчові волокна (висівки) льону	Покращення консистенції, подовження термінів зберігання, збагачення хімічного складу	Збагачення поживної та біологічної цінності, покращення консистенції

– можуть бути нерозчинні у воді й жирі, термостабільні, володіють адгезією, нейтральністю смаку й запаху.

Детальніше про роль інноваційних інгредієнтів наведено у таблиці 6.

Отже, використання даних інгредієнтів (табл. 6) у складі хумусів сприятиме: обліпихова олія – для збагачення хімічного складу, збереження якості та подовження термінів зберігання; висівки конопляні, лляні – для подовження термінів зберігання та збагачення харчовими волокнами та покращення біологічної цінності.

Одним з основних показників хумусів як дисперсної системи є її здатність максимально зберігати свій склад незмінним, коли концентрація дисперсної фази і розподіл часток за розмірами залишаються постійними в часі.

Дослідження седиментаційної здатності модельних систем хумусів здійснювали методом центрифугування протягом 30 хвилин. Зовнішній вигляд дослідних зразків після центрифугування наведено на рис. 2.

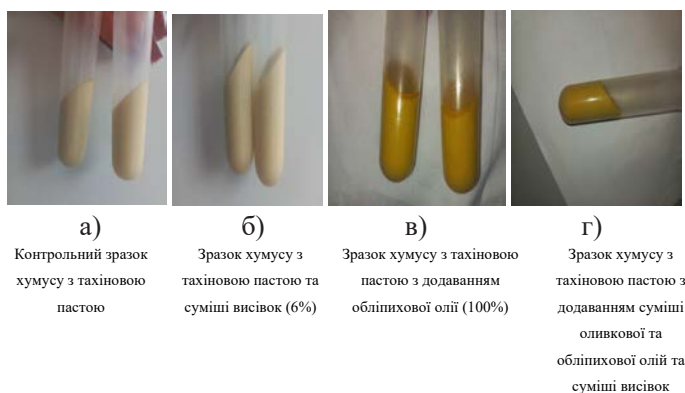


Рис. 2. Зовнішній вигляд модельних зразків після центрифугування

Як видно з рисунку 2, внесення суміші висівок позитивно впливає на стійкість системи. Відшарування олії у дослідних зразках, за рахунок висівок, помітно зменшилось в зразках б та г порівняно із контролем.

Повна заміна оливкової олії на обліпихову не дозволяє забезпечити стабільність системи, спостерігається значне відшарування олії (рис. 2в). В ході експериментальних досліджень встановлено, що в рецептурі хумусів з тахіновою пастою, збагаченою інноваційними інгредієнтами оптимальним співвідношення олій є: оливкова: обліпихова олія – 50:50 відповідно. Дане співвідношення олій та внесення суміші висівок забезпечує необхідну стабільність системи (рис. 2г).

Функціональні властивості інноваційних інгредієнтів добре підходять для вирішення поставлених задач.

Таблиця 6

Рецептури модельних систем хумусів з інноваційними інгредієнтами, %

Інгредієнт	Модельні системи					
	МС 1	МС2	МС3	МС4	МС5	МС6
Оливкова олія	50	25	75	50	50	50
Обліпихова олія	50	75	25	50	50	50
Висівки коноплі	–	–	–	3,0	3,2	2,8
Висівки льону	-	-	-	3,0	2,8	3,2



Для подальших досліджень нами було складено модельні системи з різними співвідношеннями інноваційних інгредієнтів у рецептурі хумусів (табл. 6).

Для точніших дослідів та їх зручності було прийняте рішення спочатку обрати співвідношення олій. Ми змішували оливкову олію з обліпиховою у різних відсоткових співвідношеннях, не змінюючи кінцеву вагу доданої олії у порівнянні із контролем, оскільки саме попереднє змішування олій є найкращим способом внесення їх до рецептури.

Наступним кроком було додавання різних співвідношень харчових волокон до вже обраної кількості олії. В ході досліджень було встановлено, що додавання 20 г суміші висівок консистенція дослідних зразків стає занадто густою, неоднорідною, крім того погіршуються органолептичні властивості. Отже, було прийняте рішення зупинитися на МК 6 з кількістю висівок 15г (6%) на 250 г хумусу.

Таблиця 7

### Органолептична оцінка модульних систем

№ модельної системи	Характеристика			
	Зовнішній вигляд	Смак та запах	Колір	Консистенція
МС 1	Пастоподібна, однорідна маса помаранчевого кольору	Приємні, притаманні вхідним інгредієнтам, легкий аромат обліпихи, присутній присмак обліпихової олії	Яскраво помаранчевий	Однорідна, пастоподібна, ніжна
МС 2	Пастоподібна маса, яскраво помаранчевого кольору, злегка масляниста на вигляд	Притаманні вхідним інгредієнтам, різкий запах та аромат обліпихової олії	Яскраво помаранчевий	Однорідна, пастоподібна, ніжна
МС 3	Пастоподібна однорідна маса, блідо помаранчевого кольору	Приємні, притаманні вхідним інгредієнтам аромат та присмак обліпихи ледь відчутно	Блідо помаранчевий	Однорідна, пастоподібна, ніжна
МС 4	Пастоподібна, однорідна маса помаранчевого кольору	Приємні, притаманні вхідним інгредієнтам, легкий аромат обліпихи, присутній присмак обліпихової олії	Помаранчевий	Пастоподібна, недостатньо однорідна та ніжна
МС 5	Пастоподібна, однорідна маса помаранчевого кольору	Приємні, притаманні вхідним інгредієнтам, легкий аромат обліпихи, присутній присмак обліпихової олії	Помаранчевий	Пастоподібна, відчувається нерівність текстури.
МС 6	Пастоподібна, однорідна маса помаранчевого кольору	Приємні, притаманні вхідним інгредієнтам, легкий аромат обліпихи, присутній присмак обліпихової олії	Помаранчевий	Однорідна, пастоподібна, ніжна

Отже, спираючись на проведені дослідження, було визначено, що найкращі органолептичні властивості мають модельні системи 1 та 6, тобто олію обліпихи змішуючи з оливковою 1:1, та більшу концентрацію харчових волокон льону. За органолептичними показниками це найкращі варіанти рецептури, що забезпечують якісні зовнішній вигляд, консистенцію, запах та смак.

Даний рецептурний склад інгредієнтів дає нам збільшення масової частки вологи до 56%. Відшарування олії у таких концентраціях інгредієнтів також є з найменшим відсотком, а тому сприятиме подовженню тривалості зберігання.

На підставі проведених досліджень, нами було розроблено технологію інноваційної закуски «Хумус з тахіноювастою, з сумішшю олій та висівок». Рецептура якої наведена у табл. 8.

Таблиця 8

**Рецептура закуски «Хумус з тахіноювастою, з сумішшю олій та висівок»**

№ з/п	Сировина	Витрати сировини, г на 1 кг готової продукції		Технологічні вимоги до якості сировини
		Брутто, г	Нетто, г	
1	Нут	240	544	ДСТУ 6019:2008
2	Оливкова олія	60	60	ДСТУ5065:2008
3	Обліпихова олія	60	60	ISO 22000:2005
4	Паста тахіні	250	250	ISO 22000:2007
5	Висівки коноплі	28	28	ДСТУ 7695:2015
6	Висівки льону	32	32	ДСТУ 4967:2008
7	Лимон	60	30	ДСТУ ЕЭК ООН FFV-14:2007
8	Паприка мелена	6	6	ISO 972:2008
9	Сіль	3	3	ДСТУ 3583:2015
10	Перець чорний мелений	3	3	ISO959-1(2):2008
Вихід			1000	

Примітка: \* – маса відвареного нуту.

Для приготування закуски «Хумус з тахіноювастою, з сумішшю олій та висівок» потрібно попередньо замочити нут на 2...3 год, відварити його та остудити.

Далі до чаші блендера додати відварений нут, пасту тахіні, паприку, сіль, перець, подрібнений часник, сік лимону та попередньо змішані олії, висівки, відвар з нуту. Перебиваємо до однорідної маси, за потреби можна, додати ще нуту-вого відвару. Страва закуска готова до сервірування та споживання.

Розроблена закуска «Хумус з тахіноювастою з сумішшю олій та висівок» за органолептичними показниками має відповідати вимогам зазначеним у табл. 9.

Споживчі властивості будь-якої харчової та кулінарної продукції визначає насамперед вміст в ній основних поживних та біологічно активних речовин. Поживна цінність розробленого хумуса з тахіноювастою з сумішшю олій та висівок наведено у табл. 10.

Розроблена рецептура хумусу не тільки відповідає вимогам якості, а і задовольнила поставлені задачі – збільшення поживної та біологічної цінності.

Порівняно із контролем, хімічний склад покращився, зокрема, за показниками вмісту клітковини до 10,1%, вітамінів, мінералів, жирів та білків до 18,9%, що зумовлено збагаченням рецептури обліпиховою олією, конопляними та лляними висівками.

**Висновки.** На сучасному етапі розвитку ресторанного господарства удосконалення технологій та розширення асортименту холодних закусок на основі рослинної сировини є достатньо актуальним.

Удосконалення класичної рецептури хумусу з тахіновою пастою, шляхом внесення купажу обліпихової та оливкової олій, у співвідношенні 50:50, відповідно та сумішшю конопляних та лляних висівків, у кількостях 25 на 75% відповідно,

Таблиця 9

**Органолептичні показники якості страви «Хумус із тахіновою пастою з сумішшю олій та висівків»**

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Пастоподібна, однорідна маса яскравого помаранчевого кольору.
Колір	Помаранчевий
Смак	Приємний, притаманий вхідним інгредієнтам, без сторонніх присмаків, вміру солоний, відчувається кислуватий присмак обліпихи та спецій
Запах	Приємний, притаманий вхідним інгредієнтам, без сторонніх запахів, відчутний легкий аромат часнику та обліпихи
Консистенція	Ніжна, шовкова, однорідна, без грудочок

Таблиця 10

**Хімічний склад закуски «Хумус із тахіновою пастою з сумішшю олій та висівків», на 100 г**

Показник	Значення
Білки, г	18,9
Жири, г	24,3
Вуглеводи, г	40,6
Клітковина, г	10,1
Калорійність, ккал	450
Вітамінний склад, мг:	
Вітамін С	10,0
Вітамін Е	2,0
Вітамін В <sub>1</sub>	0,5
Вітамін В <sub>2</sub>	0,5
Вітамін В <sub>3</sub>	0,5
Вітамін В <sub>6</sub>	0,4
Мінеральний склад, мг:	
Кальцій	150
Магній	120
Фосфор	250
Залізо	4
Цинк	2
Натрій	300

дозволило покращити поживну, зокрема за рахунок збільшення білків до 18,9% та клітковини до 10,1% і біологічну цінність, покращити жирно-кислотного склад, збільшити вміст вітамінів та мінеральних речовин. Внесення в рецептуру суміші конопляних та лляних висівок покращує текстуру, допомагають утримувати вологу та олію, що сприяє покращенню стійкості дисперсної системи під час зберігання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Переробка нуту: український виробник патентує унікальний хумус: веб-сайт. URL: <http://surl.li/kgwxcu> (дата звернення: 12.11.2024).
2. Іваніщева, О. А. Застосування THERMOMIX у технологічному процесі приготування нетрадиційного хумусу. In: Соціально-політичні, економічні та гуманітарні виміри європейської інтеграції України: зб. наук. пр. X Міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця. 2023. р. 149.
3. Сумська, О. П., Н. В. Новікова, and Є. М. Ковпанець. визначення вмісту органічних кислот у хімічному складі обліпихової олії, отриманої з регіональної сировини. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки 4. 2022. С. 102–109.
4. Сова, Н., Луценко, М., Ефімов, В., Курхалін, С. Характеристика сипких конопляних продуктів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, (45 (1321)). 2018. С. 207–213.
5. О. В. Шалимінов, Т. П. Дятченко, Л. О. Кравченко та ін. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів : для підприємств громадського харчування всіх форм власності. 2005. К. : А.С.К, 848 с.
6. Марушко, Л.П. (2012) Жирнокислотний склад олії, виділеної з насіння обліпихи крушиновидної (*Hippophae rhamnoides* L.). Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. РОЗДІЛ III. Органічна хімія. (17). С. 119–122. веб-сайт. URL: <http://surl.li/emarts> (дата звернення: 12.11.2024).
7. Підгайна, Є. Ю. Виявлення фальсифікату та антиоксидантний потенціал оливкової олії. 2020. веб-сайт. URL: <http://surl.li/goqeip> (дата звернення: 12.11.2024).
8. Холод, Т., Капрельянц, Л. Перспективи використання нетрадиційної рослинної сировини у технології білковмісних харчових продуктів. Вісник Львівського університету. Серія біологічна, (73). 2016. С. 446.
9. Конопляні висівки. веб-сайт. URL: <http://surl.li/hbdspp> (дата звернення: 12.11.2024).

### REFERENCES:

1. Pererobka nutu: ukrains'kyi vyrobnyk patentue unikal'nyi khumus: veb-sait. URL: <http://surl.li/kgwxcu> (data zvernennia: 12.11.2024).
2. Ivanshecheva, O. A. (2023). Zastosuvannia THERMOMIX u tekhnolohichnomu protsesi pryhotuvannia netradytsiinoho khumusy. In: Sotsial'no-politychni, ekonomichni ta humanitarni vymiry yevropeis'koi intehratsii Ukrainy: zb. nauk. pr. Kh Mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Vinnytsia, p. 149.
3. Sums'ka, O. P., N. V. Novikova, ta Ye. M. Kovpanets'. (2022) vyznachennia vmistu orhanichnykh kyslot u khimichnomu skladi oblipykhovoi olii, otrymanoї z rehional'noi syrovyny. Tavriis'kyi naukovyi visnyk. Seria: Tekhnichni nauky 4. S. 102–109.
4. Sova, N., Lutsenko, M., Efimov, V., Kurkhalin, S. (2018). Kharakterystyka sypkykh konoplianykh produktiv. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seria: Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh, (45 (1321)). S. 207–213.
5. O. V. Shalymynov, T. P. Diatchenko, L. O. Kravchenko ta in. (2005). Zbirnyk retseptur natsional'nykh strav ta kulinarykh vyrobiv: dlia pidpriemstv hromads'koho kharchuvannia vsikh form vlasnosti. K. : A.S.K, 848 s.
6. Marushko, L. P. (2012) Zhyrnokyslotnyi sklad olii, vydilenoї z nasinnia oblipyky krushynovydnoi (*Hippophae rhamnoides* L.). Naukovyi visnyk Volyns'koho

natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrainky. ROZDIL III. Orhanichna khimiia. (17). S. 119–122. veb-sait. URL: <http://surl.li/emapts> (data zvernennia: 12.11.2024).

7. Pidhaina, Ye. Yu. (2020). Vyiavlennia falsyfikatu ta antyoksiydanntnyi potentsial olyvkovoi olii. veb-sait. URL: <http://surl.li/roqep> (data zvernennia: 12.11.2024).

8. Kholod, T., Kapreliants, L. (2016). Perspektyvy vykorystannia netradytsiinoi roslynnoi syrovyny u tekhnolohii bilkovmisnykh kharchovykh produktiv. Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriia biolohichna, (73), S. 446.

9. Konopliani vysivky. veb-sait. URL: <http://surl.li/hbdsps> (data zvernennia: 12.11.2024).

УДК 613.2:664.68-027.38

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.23>

## ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНЯНОГО НАПІВФАБРИКАТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

**Паєлюченко О. С.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-8742-4150

**Сабіров О. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID ID: 0000-0001-9436-0477

**Прохоренко Д. М.** – здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0009-0007-9677-4121

У статті проведено теоретичні та експериментальні дослідження щодо розроблення борошняного кондитерського напівфабрикату на основі рослинної сировини спеціального призначення.

В результаті проведеного літературного огляду було підтверджено актуальність і доцільність розширення на ринку України асортименту продукції без алергенів, зокрема безглютенової, безлактозної, без складників тваринного походження, і т.д. Встановлено можливість повної заміни пшеничного борошна на суміш рисового та мигдалевого, підібрано альтернативні джерела заміни сировини тваринного походження на рослинні інгредієнти.

Рецептурний склад інноваційного дослідного зразка напівфабрикату містив наступні інгредієнти: олію соняшникової рафінованої, еритритол, суміш борошна рисового та мигдалевого, сироп агаві, розпушувач та мигдалевий напій.

На основі отриманих даних визначили оптимальне співвідношення рисового та мигдалевого борошна у композиційній суміші. Заміщення пшеничного на суміш рисового та мигдалевого борошна дозволило отримати безглютеновий напівфабрикат, а заміна яєць на олію соняшникової рафінованої та цукру на еритритол і сироп агаві, дозволило отримати борошняний напівфабрикат, доступний для більшої кількості населення, які мають певні харчові обмеження та розширити асортимент виробів спеціального призначення.

На основі проведеної дегустаційної оцінки борошняного напівфабрикату, було встановлено те що, отриманий зразок має задовільні органолептичні показники: світло-коричневий колір, пишну, пористу та еластичну структуру м'якушки, приємні, з горіховими нотками аромат і смак, має добре розвинену пористість. Вологість напівфабрикату – 31,7%. Поживна та енергетична цінність на 100 г готового напівфабрикату складає: білків – 9,4 г; жирів – 33,7 г; вуглеводів – 30,1 г та 455,1 ккал.

**Ключові слова:** борошняний кондитерський напівфабрикат, рисове борошно, мигдалеве борошно, сироп агаві, еритритол, інгредієнти рослинного походження, технологія, рецептура, поживна цінність.

**Pavlyuchenko O. S., Sabirov O. V., Prokhorenko D. M. Organization and technology of production of semi-finished flour for special purposes for restaurant establishments**

The paper contains theoretical and experimental research on the development of special-purpose flour confectionery semi-finished products.

As a result of the conducted literature review, the relevance and expediency of expanding the range of allergen-free products on the Ukrainian market, in particular gluten-free, lactose-free, without ingredients of animal origin, etc., was confirmed. The possibility of completely replacing wheat flour with a mixture of rice and almond flour was established, and alternative sources of replacing raw materials of animal origin with plant ingredients were selected.

*The recipe composition of the innovative experimental sample of the semi-finished product contained the following ingredients: refined sunflower oil, erythritol, a mixture of rice and almond flour, agave syrup, baking powder and almond drink.*

*Based on the obtained data, the optimal ratio of rice and almond flour for the recipe was determined. The replacement of wheat flour with a mixture of rice and almond flour made it possible to obtain a gluten-free semi-finished product, and the replacement of eggs with refined sunflower oil and sugar with erythritol and agave syrup made it possible to expand the range of special purpose products and obtain confectionery products available to a larger population.*

*Based on the tasting evaluation of the obtained semi-finished flour product, it was established that the obtained sample has high organoleptic indicators: light brown color, lush, porous and elastic pulp structure, pleasant aroma and taste with nutty notes, well-developed porosity. The moisture content of the semi-finished product is 31.7%. The nutritional and energy value per 100 g of the finished semi-finished product is: proteins – 9.4 g; fats – 33.7 g; carbohydrates – 30.1 g and 455.1 kcal.*

**Key words:** flour confectionery semi-finished product, rice flour, almond flour, agave syrup, erythritol, ingredients of vegetable origin, technology, formulation, nutritional value.

**Вступ.** Нині структура харчування значної частини населення нашої країни в значній мірі дефектна, а харчовий статус має суттєві відхилення від формули збалансованого харчування, тому пріоритетними завданнями серед науковців і виробників залишається розроблення харчової продукції, яка б здатна була задовольнити потребу споживачів у основних поживних, біологічно активних речовинах, енергії та водночас залишалась привабливою за органолептичними показниками.

Борошняні вироби – одні з найулюбленіших солодоців, тому посідають особливе місце в асортименті кондитерської продукції. Вони характеризуються високими смаковими властивостями, простотою виробництва, функціональністю, дрібнопористою структурою, яка гармонійно поєднується практично з усіма видами кремів і сиропів.

Бісквітний напівфабрикат є основою для найрізноманітніших тортів, тістечок і бісквітного печива, кексів із кремом, фруктами, варенням, або й без начинки. Навіть необроблений бісквіт, а лише посипаний цукровою пудрою, вже сам по собі є цілком довершеним та смачним виробом.

Одночасно, враховуючи основні позиції нутріціології, бісквітні напівфабрикати характеризуються невисокою біологічною цінністю, оскільки містять велику кількість вуглеводів, зокрема цукрів, незначну кількість білків, поліненасичених жирних кислот, макро- та мікроелементів.

Крім того, виробництво бісквітних напівфабрикатів за класичною рецептурою, обмежує їх споживання рядом потенційних споживачів, які віддають перевагу вегетаріанському харчуванню, дотриманню постів, дієт та обмежують споживання цукру.

Продукти спеціального призначення – продукти зі заданим хімічним складом, призначені для окремих груп населення. Їх спрямована поживна цінність обумовлена додатковим включенням або, навпаки, видаленням з продукту окремих нутрієнтів, що ґрунтується на фізіологічних потребах конкретної групи населення в харчових речовинах і енергії [1].

Постає задача розробити аналогічний до бісквітного, борошняний кондитерський напівфабрикат спеціального призначення, для задоволення потреб більшої кількості груп населення.

**Постановка проблеми.** В сучасному світі дуже розповсюджена проблема алергії на продукти харчування. Єдиним способом для осіб, схильних до харчової алергії, контролювати її – це уникати споживання харчових продуктів – алергенів та продукції, яка їх може містити.

Актуальність і доцільність наукового дослідження обумовлена вузьким асортиментом на ринку України продукції без алергенів, наприклад, безглютенової, безлактозної, без складників тваринного походження, і т.д., потребою наукового обґрунтування, удосконалення технології борошняних кондитерських виробів спеціального призначення.

**Метою дослідження** є удосконалення технології борошняного кондитерського напівфабрикату спеціального призначення на основі рослинної сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У всьому світі понад 250 мільйонів людей страждають на харчову алергію, зокрема в Європі – 17 мільйонів. За підрахунками, більше трьох відсотків дорослих та до шести відсотків дітей мають харчову алергію [2].

Згідно зі статистичними даними середньорічний темп зростання захворюваності на алергічні захворювання в Україні серед дітей та дорослих становить 0,3%. Харчова алергія реєструється у 0,1–7% дітей, при цьому її поширеність більша серед дітей – мешканців міст [3]. За останні роки відзначається суттєве збільшення кількості осіб із алергічними захворюваннями, в основі яких – харчові алергії – одна із провідних проблем ХХІ ст.

Нині на ринку харчових продуктів та продукції закладів ресторанного господарства, серед сучасних гастротрендів лідируючі позиції впевнено займає продукція «здорового харчування». При розробці якої науковці та виробники намагаються максимально враховувати збалансованість раціону у співвідношенні основних нутрієнтів та біологічно активних речовин: білків, жирів, вуглеводів, мікро- та макро-елементів, вітамінів, зменшити частку цукру та солі та збільшити кількість харчових волокон у готовій продукції [4].

Для вирішення питання розроблення продукції вегетаріанського спрямування актуальним постає питання пошуку нових видів сировини, які б дозволили забезпечити стійку якість продукції, розширити асортимент виробів та відповідали б сучасним тенденціям харчування.

Відомі наукові дослідження, які вказують на можливість повної заміни в рецептурі пісочного печива меланжу на банани, маргарину – на кокосову олію, молока згущеного – на кокосовий напій. Також підтверджено доцільність збагачення печива пісочного лляним борошном [5].

На можливість часткової заміни (до 50%) пшеничного борошна на лляне у технології пісочного печива, яка сприяє зміні кольору поверхні та появі тріщин, проте суттєво не погіршує органолептичні показники вказують ряд досліджень [6].

Можливість повної заміни борошна пшеничного в рецептурах борошняних кондитерських виробів підтверджена рядом наукових розробок під керівництвом А. М. Дорохович, К. Г. Іоргачової, В. В. Дорохович, О. В. Самохвалової, Т. І. Юдіної., В. В. Євлаш, Hiroyuki Yano та інших.

Значна частина науковців для заміни пшеничного борошна використовують рисове борошно та композиційні суміші на його основі [7, 8, 9, 10].

Зарубіжними науковцями було встановлено, що при заміні пшеничного борошна на рисове та мигдальне у печиві підвищується рівень мінеральних речовин, білка та харчових волокон. Також, автори досліджень стверджують, що для створення печива із високими сенсорними показниками варто ретельно підібрати співвідношення основної сировини, щоб досягти необхідної структури [10].

Колективом науковців встановлено, що для забезпечення необхідної якості борошняних кондитерських виробів – безглютенових мафінів доцільним є включення до їх рецептури мікробних полісахаридів таких як ксантан, гелан для



стабілізації структури м'якуша у відсутності глютену та покращення показників виробів, таких як питомий об'єм, пористість та інших [11].

**Виклад основного матеріалу.** Виробництво борошняних кондитерських виробів і напівфабрикатів за класичною рецептурою, обмежує їх споживання серед осіб, які віддають перевагу вегетаріанському харчуванню, дотриманню постів, безглютенової дієти, обмежують споживання цукру тощо.

В ході експериментальних досліджень нами було розроблено борошняний напівфабрикат, який за показниками пористості, намочуваності та питомого об'єму максимально наближався до класичного бісквіту, що дає можливість рекомендувати його до використання в технології тортів і тістечок.

В якості базової рецептури і технології обрано рецептуру борошняного напівфабрикату, в якій яйця курячі було замінено на олію, цукор, з урахуванням солодкості, було замінено на еритритол і сироп агаві, додатково вносили мигдалевий напій та розпушувач. Заміну пшеничного борошна на суміш рисового та мигдалевого борошна. Порівняльна характеристика різних видів борошна наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика різних видів борошна [12]**

Назва	Вміст, г/100 г		
	Пшеничне борошно	Рисове борошно	Мигдалеве борошно
Білки	10,8	6	18,6
Жири	1,3	1,4	53,7
Вуглеводи	69,9	77,7	13
Цукри	1	0,1	6
Харчові волокна	3,5	2,4	7
Вода	20	11,9	4
РНЕ	515 мг	400 мг	1100 мг
Калорійність	327 ккал	366 ккал	609 ккал

Аналізуючи дані табл. 1 слід зазначити, що мигдалеве борошно є найбільш калорійним, має, в порівнянні з двома іншими видами, найбільшу кількість жирів, білків, харчових волокон та цукрів в своєму складі.

Рисове борошно в свою чергу має найбільшу кількість вуглеводів. Отже, можна зробити висновок, що суміш рисового та мигдалевого борошна збагатить готовий кондитерській виріб білками, жирами, вуглеводами та харчовими волокнами за рахунок свого складу, хоча й зробить його більш калорійним.

Для визначення оптимального співвідношення було створено композиційні суміші із рисового та мигдалевого борошна у різних відсоткових співвідношеннях: модельний зразок 1: рисове: мигдалеве борошно 30:70; модельний зразок 2: рисове: мигдалеве борошно 50:50; модельний зразок 3: рисове: мигдалеве борошно 70:30; модельний зразок 4: рисове борошно - 100% (табл. 2).

Технологічний процес виробництва дослідних зразків складався з наступних етапів:

– Підготовка сировини. Включала в себе просіювання борошна (рисового та мигдалевого) і розпушувача. Проціджування рідких компонентів. Далі просіяне борошно змішували між собою та додавали до нього розпушувач.

– Замішування тіста. На початковій стадії до олії додавали еритритол та збивали 3±2 хв. Далі, продовжуючи збивання, поступово додавали сироп агаві та

продовжували збивати ще протягом  $2\pm 2$  хвилин. Наступним етапом вносили суміш борошна з розпушувачем та продовжували збивати зменшуючи оберти. На останній стадії приготування тіста, не припиняючи збивання повільно вливали мигдалевий напій та продовжували збивання протягом  $30\pm 2$  секунд. Отримане тісто переливали в попередньо підготовлену форму (діаметром 220 мм).

– Випікання. Випікали борошняний напівфабрикат при температурі  $165 \pm 2$  °C протягом  $25\pm 2$  хвилин. Отриманий напівфабрикат охолоджували при температурі  $20...25$  °C  $20...25$  хв.

Дослідження органолептичних показників проводили шляхом дегустування. Результати досліджень представлено в табл. 2.

Таблиця 2

### Органолептична оцінка дослідних зразків борошняного напівфабрикату

Назва показника	Вимоги нормативної документації	Характеристика показника		
		МК1 (рисове: мигдалеве борошно 30:70)	МК2 (рисове: мигдалеве борошно 50:50)	МК3 (рисове: мигдалеве борошно 70:30)
Форма	Правильна, без пошкоджень. Відповідає формі, у якій проводилось випікання	Правильна, без пошкоджень. Відповідає формі, у якій проводилось випікання	Правильна, без пошкоджень. Відповідає формі, у якій проводилось випікання	Дещо бугриста, без пошкоджень. Відповідає формі, у якій проводилось випікання
Стан поверхні	Рівна, без тріщин	Рівна, без тріщин	Рівна, без тріщин	Бугриста, без тріщин
Вид на розрізі	Рівномірний за товщиною, пористий, добре пропечений	Рівномірний за товщиною, пористий, добре пропечений	Рівномірний за товщиною, пористий, добре пропечений	Нерівномірний за товщиною, непогано пропечений
Колір	Жовтуватий	Коричнюватий	Коричнюватий	Коричнюватий
Смак та запах	Характерний даному виробу, без стороннього запаху та присмаку	Характерний даному виробу, з незначним присмаком сирого горіха	Характерний даному виробу, з незначним горіховим та рисовим присмаком	Характерний даному виробу, з присмаком рису

Аналізуючи дані (табл. 2) можна дійти висновку, що найкращі показники (порівняно з контролем) мають МК1 та МК2, але при розрізанні було помітно що, МК 1 занадто розсипчаста, через високий вміст мигдалевого борошна в своєму склад.

Отже, найкращі органолептичні показники характерні для модельної композиції 2 (співвідношення рисового та мигдалевого борошна 50:50).

При визначенні фізико-хімічних показників якості дослідного зразка (МК2) було встановлено, що проведена заміна рецептурних компонентів, у тому числі і збільшення частки мигдалевого борошна, впливають на зменшення вологості

(до 3%) та намоочуваності (майже у 1,5 рази) готових виробів. Слід відмітити, що зниження вологості готових виробів пов'язано зі зміною рецептурного складу, збільшенню жирів та рослинних білків, які менше поглинають і утримують вологу. Упікання в результаті теплової обробки зменшується до 6%.

Заміна яєць на олію соняшникову та використання мигдалевого напою сприяє утворенню більш тонкої, однорідної пористості та меншій крихкватості готових виробів. Що може бути позитивним при подальшому використанні напівфабрикату як основи тортів та тістечок.

Виробництво борошняного напівфабрикату на основі рослинної сировини дозволяє зменшити вміст вуглеводів, збільшити вміст жирів та калорійність готових виробів (рис. 1).

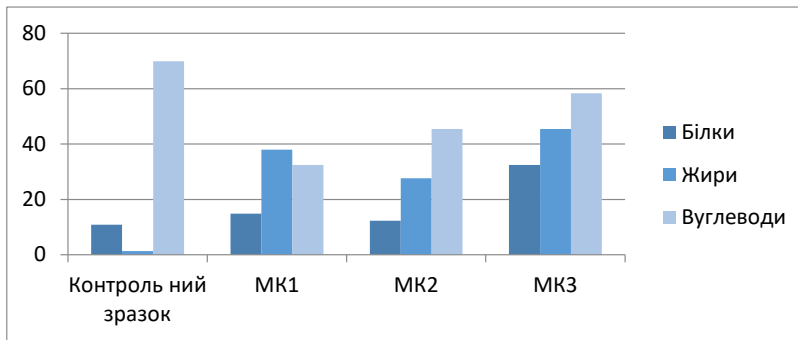


Рис. 1. Вміст білків, жирів, вуглеводів

Джерело: розробка автора

З урахуванням поживної цінності та калорійності отриманого борошняного напівфабрикату можна рекомендувати поєднати його з більш низькокалорійними білковими, фруктовими, заварними та сирними кремами.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Використання рослинної сировини в технології борошняних напівфабрикатів є доцільним. Отриманий борошняний напівфабрикат має високі органолептичні показники: світло-коричневий колір, пишну, пористу та еластичну структуру м'якушки, приємні, з горіховими нотками аромат і смак, має добре розвинену пористість. Вологість напівфабрикату – 31,7%. Поживна та енергетична цінність на 100 г готового напівфабрикату складає: білків – 9,4 г; жирів – 33,7 г; вуглеводів – 30,1 г та 455,1 ккал.

Розроблений борошняний напівфабрикат на основі рослинної сировини має низку позитивних характеристик: нескладний технологічний процес виробництва, функціональність, задовільні органолептичні показники якості, покращену поживну цінність, тому має всі перспективи для подальшого використання як основи ряду борошняних кондитерських виробів спеціального призначення для закладів ресторанного господарства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Попова Н.В., Ковальов С.В., Козаков Г.П., Степанова С.І., Алфьорова Д.А., Грудько І.А. :Тексти лекцій з нутриціології: X. : Вид-во НФаУ, 2016. 153 с.
2. Що таке харчова алергія? *Delta Med. Delta Med.* URL: <https://delta-med.com.ua/shho-take-harchova-alergiya/> (дата звернення: 10.11.2024).

3. Вікові та клініко-патогенетичні особливості харчової алергії у дітей: підходи до лікування та профілактики. *Здоров'я України | Інформація для спеціалістів охорони здоров'я Health-ua*. URL: <http://surl.li/atuhjl> (дата звернення: 10.11.2024).

4. Chumak I. V. OCCIDENTIAL TRENDS FOR THE DEVELOPMENT OF FOOD INNOVATIONS IN THE CONTEXT OF UKRAINIAN AND WORLD STATE-BUILDING. "Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University", series "Public Administration". 2022. № 1. С. 11–18. URL: <https://doi.org/10.32838/tnu-2663-6468/2022.1/03> (дата звернення: 10.11.2024).

5. Павлюченко, О. С., Польовик, В. В., Новаторська, М. О. Печиво пісочне спеціального призначення на основі рослинної сировини. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки (6). 2024. С. 147–158. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.17>

6. Євлаш В.В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Сєноґонова Л. І. Удосконалення технології печива пісочного з використанням лляного борошна. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : збірник наук. пр. Харків 2021 : ХДУХТ, Вип. 1 (33) (тех). С. 187–198.

7. Погорельська А. С., Павлюченко О. С., Кузьмін О. В., Польовик В. В., Силка І. М. Теоретичні аспекти доцільності створення безглютенових кексів збагачених сиром кисломолочним, для закладів ресторанного господарства. Наукові праці НУХТ, 2023. Том 29, № 1. С. 151–163.

8. Юдіна, Т., Безрученко, О., Павлюченко, О. Обґрунтування складу борошняної сировини у технології безглютенових кексів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Т. 1, № 19. С. 179–186. <https://doi.org/10.31388/10.31388/2078-0877>

9. І. М. Медвідь / Удосконалення технології хліба спеціального дієтичного призначення: дис. ... д-ра філос. : 181 "Харчові технології" /; Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2020. 317 с.

10. Yildiz E. (2021). Use of almond flour and stevia in rice-based gluten-free cookie production. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 940 – 951.

DOI: 10.1007/s13197-020-04608-x

11. Mykhaylov, V., Samokhvalova, O., Kucheruk, Z., Kasabova, K., Simakova, O., Goriainova, I., Rogovaya, A., & Choni, I. (2019). Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>

12. Прохоренко Д.М., Машовець М.Ю., Павлюченко О.С. Борошняний напівфабрикат для тортів і тістечок закладів ресторанного господарства. XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Інноваційні технології в готельно-ресторанному та туристичному бізнесі», присвяченої 140-річчю НУХТ, 21 травня 2024 р. К.:НУХТ, 2024 р. 267 с.

#### REFERENCES:

1. Popova N.V., Kovalyov S.V., Kozakov G.P., Stepanova S.I., Alfyorova D.A., Grudko I.A. (2016) : *Teksty leksii z nutrytsiologii*: Kh.: Ed. NFaU

2. Shcho take kharchova alerhiia?– *Delta Med.* (б. д.). *Delta Med.* <https://delta-med.com.ua/shho-take-harchova-alergiya/>

3. Vikovi ta kliniko-patohenetychni osoblyvosti kharchovoi alerhii u ditei: pidkhody do likuvannia ta profilaktyky. *Zdorovia Ukrainy | Informatsiia dlia spetsialistiv okhorony zdorovia – Health-ua*. URL: <http://surl.li/atuhjl> (access 11/10/2024).

4. Chumak, I. V. (2022). OCCIDENTIAL TRENDS FOR THE DEVELOPMENT OF FOOD INNOVATIONS IN THE CONTEXT OF UKRAINIAN AND WORLD STATE-BUILDING. "Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University", series "Public Administration", (1), 11–18. <https://doi.org/10.32838/tnu-2663-6468/2022.1/03>

5. Pavlyuchenko, O. S., Polovyk, V. V., & Novatorska, M. O. (2024). PEChYVO PISOChNE SPETsIALNOHO PRYZNACHENNIa NA OSNOVI ROSLYNNOI SYROVYNY. [SPECIAL PURPOSE COOKIES BASED ON VEGETABLE RAW MATERIALS]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk. Series: Technical Sciences*, (6), 147–158. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.17>

6. Yevlash V.V., Gazzavi-Rogozina L. V., Senogonova L. I (2021) Udoskonalennia tekhnolohii pechyva pisochnoho z vykorystanniam llianoho boroshna. [Improvement of shortbread cookie technology using flax flour]. *restaurant economy and trade: collection of sciences. Kharkiv. Vol. 1 (33) (tech)*. 187–198.

7. Pogorelska A. S., Pavlyuchenko O. S., Kuzmin O. V., Polovyk V. V., Silka I. M. (2023) Teoretychni aspekty dotsilnosti stvorennia bezghliutenovykh keksiv zbahachenykh syrom kyslomolochnym, dlia zakladiv restorannoho hospodarstva [Theoretical aspects of the expediency of creating gluten-free muffins enriched with sour milk cheese for restaurants]. *Scientific Works of NUFT, Volume 29, No. 1.* – 151–163 (Retrieved November 10, 2023)

8. Yudina, T., Bezruchenko, O., Pavlyuchenko, O. (2019) . Obhruntuvannia skladu boroshnianoj syrovyny u tekhnolohii bezghliutenovykh keksiv. [Justification of the composition of flour raw materials in the technology of gluten-free cupcakes.] *Proceedings of the Tavri State University of Agrotechnology*, 1(19), 179–186. <https://doi.org/10.31388/10.31388/2078-0877>

9. I. M. Medvid (2020) Udoskonalennia tekhnolohii khliba spetsialnogo diietychnoho pryznachennia [Improving the technology of bread for special dietary purposes]. Kyiv

10. Yıldız E. (2021). Use of almond flour and stevia in rice-based gluten-free cookie production. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 940 – 951. DOI: 10.1007/s13197-020-04608-x

11. Mykhaylov, V., Samokhvalova, O., Kucheruk, Z., Kasabova, K., Simakova, O., Goriainova, I., Rogovaya, A., & Choni, I. (2019). Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>

12. Prokhorenko D.M., Mashovets M. Yu., Pavlyuchenko O.S. (2024) [Boroshniani napivfabrykat dlia tortiv i tistechok zakladiv restorannoho hospodarstva] Semi-finished flour for cakes and pastries in restaurants. *Proceedings of the XIII All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation "Innovative technologies in the hotel, restaurant and tourism business"*, dedicated to the 140th anniversary of NUFT, (May 21, 2024 – Kyiv.: NUFT), 2024. 267 p.

УДК 637.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.24>

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ МАШИННО-АПАРАТУРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО

**Паперняк Р. В.** – аспірант кафедри обладнання харчових технологій  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя  
ORCID ID: 0009-0007-2427-4590

**Шинкарик М. М.** – кандидат технічних наук, доцент,  
професор кафедри обладнання харчових технологій  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя  
ORCID ID: 0000-0003-3489-9803

**Кравець О. І.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри обладнання харчових технологій  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя  
ORCID ID: 0000-0002-3309-9962  
Scopus-Author ID: 57211205224

**Лукіяничук Б. Я.** – головний технолог ПрАТ «Тернопільський молокозавод»  
ORCID ID: 0009-0007-8561-3197

У даній роботі розглянуто комплексний підхід до оцінки машинно-апаратного забезпечення виробництва сиру кисломолочного з точки зору сталого розвитку.

Метою роботи був аналіз машинно-апаратних схем виробництва сиру кисломолочного з точки зору сталого розвитку.

Об'єкт досліджень: вплив виробництва сиру кисломолочного на споживача у взаємозв'язку зі сферою його існування та забезпечення якості життя.

Основними показниками у комплексному підході до оцінки технологічного процесу та його машинно-апаратного забезпечення в потокових лініях виробництва продукту були обрані наступні: якість готового продукту, санітарія, виробництво продукту з одиниці сировини, затрати енергоресурсів, вплив виробництва на навколишнє середовище.

Показники якості продукту і санітарії відносяться до сьогодення і забезпечуються якістю сировини, дотриманням вимог технологічного процесу та вибором машинно-апаратного забезпечення. Основну увагу було приділено таким показникам як затрати сировини і енергоресурсів, вплив виробництва на навколишнє середовище.

Як основні розглянуті дві схеми машинно-апаратного забезпечення виробництва на основі використання ванн для отримання сирного зерна та закритих апаратів горизонтального чи вертикального типу.

Проведений аналіз дозволив зробити наступні висновки.

З точки зору сталого розвитку (якість, санітарія, втрата сировини) для сквашування молока і утворення структури сиру перевагу необхідно надавати закритим апаратам горизонтального типу.

Механізація процесів виробництва призводить до підвищених втрат сировини у вигляді сирної пилочки. Тому навіть при невеликих об'ємах виробництва доцільно проводити очищення сироватки від сирної пилочки.

З точки зору вимог сталого розвитку (екологія, сировина) необхідно забезпечити необхідно забезпечити повне перероблення початкового молока (в подальшому сироватки) збільшуючи концентрацію виробництва, або створенням окремих заводів для перероблення сироватки.

Доцільно розвивати нові технології і обладнання для виробництва сиру кисломолочного на основі ультрафільтраційного оброблення молока, а також інших продуктів з використанням сиру кисломолочного.

**Ключові слова:** сталий розвиток, сир кисломолочний, сировиготовлювач.

**Paperniak R. V., Shynkaryk M. M., Kravets O. I., Lukiyanchuk B. Ya. A comprehensive approach to the evaluation of cottage cheese production equipment**

*This work considers a comprehensive approach to the evaluation of equipment for cottage cheese production from the point of view of sustainable development.*

*The purpose of the work was to analyze the equipment for the production of sour milk cheese from the point of view of sustainable development.*

*The object of research: the impact of the production of fermented milk cheese on the consumer in relation to the sphere of his existence and ensuring the quality of life.*

*The main indicators in the integrated approach to the evaluation of the technological process and its provision of equipment in the flow lines of product production were chosen as the following: quality of the finished product, sanitation, production of the product from a unit of raw materials, energy consumption, and the impact of production on the environment.*

*Indicators of product quality and sanitation relate to the present and are ensured by the quality of raw materials, compliance with the requirements of the technological process and the choice of machinery and equipment.*

*Two schemes for providing production equipment can be considered: the use of tubs for obtaining cheese grain and closed devices of horizontal or vertical type.*

*The analysis made it possible to draw the following conclusions.*

*From the point of view of sustainable development (some, sanitation, loss of raw materials), for the fermentation of milk and the formation of the structure of cheese, preference should be given to closed devices of the horizontal type.*

*Mechanization of production processes leads to increased losses of raw materials in the form of cheese dust. Therefore, even with small volumes of production, it is advisable to clean the whey from cheese dust.*

*From the point of view of the requirements of sustainable development (ecology, raw materials), it is necessary to ensure complete processing of the initial milk (in the future, whey) by increasing the concentration of production, or by creating separate factories for processing whey.*

*It is advisable to develop new technologies and equipment for the production of cottage cheese based on ultrafiltration processing of milk, as well as other products using sour milk cheese.*

**Key words:** sustainable development, cottage cheese, cheese maker.

**Вступ.** Сир кисломолочний можна віднести до національних продуктів молочного ринку України, який споживається у свіжому вигляді, а також є складовим у продуктах хлібобулочної і кондитерської промисловості [1]. Як молочний продукт рекомендується для всіх вікових груп населення – характеризується підвищеним вмістом білку (14–18%) порівняно з молоком (3,2–+0,5), вмістом жиру до 18% та містить кальцій (120...160 мг/100 г) і фосфор (189 ...224мг/100 г) [2], які необхідні для утворення кісткової тканини [3]. Сировиною для виробництва сиру є незбиране молоко, знежирене молоко, маслянка (або ці сировини в сухому вигляді), які в процесі сквашування відповідними препаратами коагулюють. Необхідний вміст жиру у готовому продукті забезпечується підготовкою початкової сировини, або добавлянням жирової фракції у сирну масу на завершальній стадії виробництва [4, 5]. Вміст білку досягається відділенням сироватки із коагульованого згустку.

**Аналіз публікацій.** Машино-апаратне забезпечення виробництва в основному визначається способом сквашування, відділення сироватки та охолодження продукту [6, 7]. За способом сквашування розрізняють сичужний, кислотно-сичужний та кислотний; відповідно до способу відділення сироватки відрізняють традиційний та роздільний [8]. Роздільний спосіб передбачає відділення сироватки як більш легкої фракції сепаруванням знежиреного коагульованого молока, одержання пастоподібного продукту та подальше внесення вершків і вимагає встановлення значної кількості додаткового обладнання, крім цього пастоподібна консистенція значно зменшує подальші можливості використання продукту в кондитерській і хлібобулочній промисловості та за структурою не відповідає встановленому поняттю «сир кисломолочний». При традиційному способі сироватка відділяється самовільно в результаті порушення термодинамічної рівноваги

коагульованого молока при розрізанні згустку та підігріві[8]. В подальшому необхідно відділити сироватку від дисперсної маси сироватка-сир, що є однією із трудомістких і тривалих в часі операцій. При сичужному сквашуванні дисперсну масу для відділення сироватки (самопресування) розливають у лавсанові мішечки, що не забезпечує належний рівень санітарії, вимагає великих затрат ручної праці та не піддається механізації, тому цей спосіб використовується рідко, при невеликих об'ємах виробництва [9, 10].

На даний час підприємства надають перевагу кислотному способу заквашування, інтенсифікації процесу синерезису шляхом підігріву, який на стадії утворення зерна піддається механізації і автоматизації, дозволяє підвищити продуктивність ліній та ефективно використовувати виробничі площі [8].

Сучасні поточкові машинно-апаратурні лінії виробництва побудовані за змішаною схемою, при якій заквашування згустку та утворення сирних зерен проводять у періодичному процесі в апаратах ємкісного типу, яких встановлюють декілька. При цьому відділення сироватки та процес охолодження здійснюються неперервно.

**Формулювання мети дослідження.** Мета досліджень: аналіз машинно-апаратурних схем виробництва сиру кисломолочного з точки зору сталого розвитку.

Об'єктом в даному випадку є вплив виробництва сиру кисломолочного на споживача у взаємозв'язку зі сферою його існування та забезпечення якості життя.

**Результати.** Основними показниками у комплексному підході до оцінки технологічного процесу та його машинно-апаратурного забезпечення в поточкових лініях виробництва продукту були обрані наступні: якість готового продукту, санітарія, виробництво продукту з одиниці сировини, затрати енергоресурсів, вплив виробництва на навколишнє середовище (рис. 1).

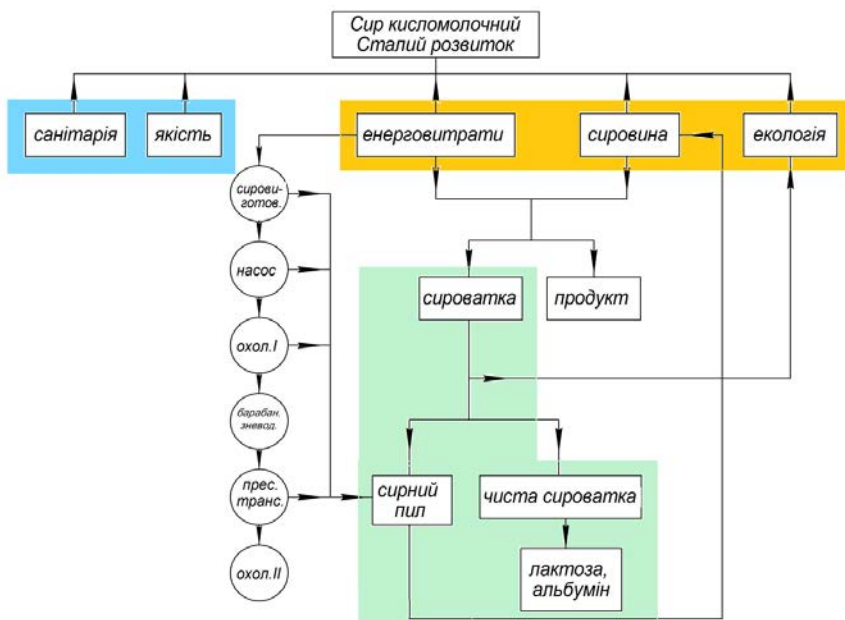


Рис. 1. Блок-схема взаємозв'язку показників сталого розвитку



Показники якості продукту і санітарії відносяться до сьогодення і забезпечуються якістю сировини, дотриманням вимог технологічного процесу та вибором машинно-апаратного забезпечення та не мають впливу на довілля.

Можна розглядати дві схеми машинно-апаратного забезпечення виробництва: використання ванн для отримання сирного зерна та закритих апаратів горизонтального (рис. 2) чи вертикального типу (рис. 3). Вже на першому етапі виробництва перевагу віддають закритим апаратам – сировиготовлювачам [11], які забезпечують кращі санітарні умови виробництва та зменшують витрати на підігрів молока до заквашування та в процесі оброблення за рахунок зменшення втрат теплоти з відкритої поверхні. Для підігріву молока до сквашування та інтенсифікації відділення сироватки використовується теплообмінна сорочка [12], мішалки забезпечують розрізання і перемішування згустку, тобто формування відповідної структури готового продукту [13, 14].

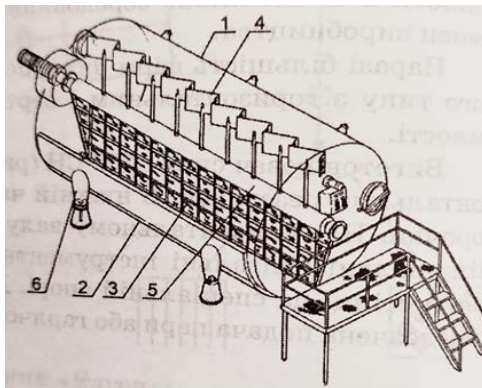


Рис. 2. Горизонтальний виготовлювач сиру фірми «Пасілак» [11]: 1 – корпус; 2 – теплообмінна сорочка; 3 – різальний інструмент; 4 – лопатка; 5 – вал

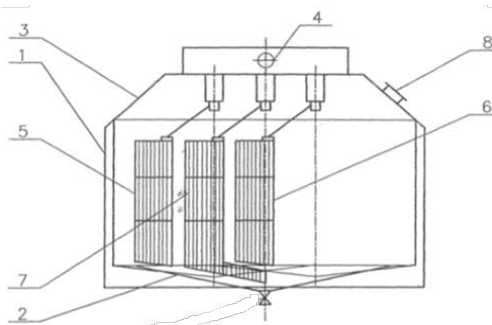


Рис. 3. Сировиготовлювач вертикального типу [15]: 1 – резервуар; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – привід; 5–7 – мішалки; 8 – патрубок для подачі молока

Конструктивне виконання корпусу сировиготовлювача (горизонтальний, вертикальний) та мішалки впливає на якість оброблення згустку та утворення дрібних частинок білка (сирної пилюки). Вертикальні сировиготовлювачі займають менші виробничі площі, однак у горизонтальних сировиготовлювачах обробка згустку проходить в меншому шарі, що забезпечує менші втрати сировини. Конструкція горизонтальних сировиготовлювачів забезпечує роботу мішалки в коливальному

режимі, а також ріжучі ножі і перемішуючі засоби не занурені у згусток, що дає можливість уникнути початкових втрат білку в результаті адгезії до поверхонь інструменту.

Основну масу сироватки (40–50%) відводять безпосередньо з апарату, а решту на перфорованих поверхнях (рис. 4), які можуть бути виконані у вигляді прес візків, перфорованих барабанів, а у лініях [16] з використанням транспортерів з дренажною стрічкою.

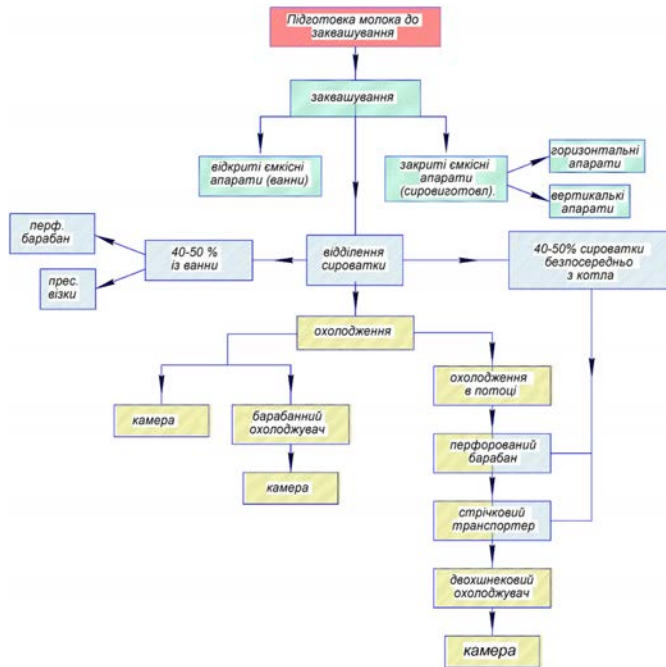


Рис. 4. Блок-схема машино-апаратного забезпечення виробництва сиру кисломолочного

Важливим є охолодження сирного зерна, яке проводять на кінцевому етапі виробництва [17, 18]. З цієї метою використовують відведення теплоти при контакті сиру з охолоджуючою поверхнею (кондуктивний спосіб) та відведення теплоти безпосередньо подачею попередньо охолодженої сироватки у сирну масу, або охолодження сиру в сироватці іншим холодоагентом (конвективний спосіб).

До першого типу можна віднести охолоджувачі типу Д5-ОТЕ (рис. 5) та ОТД. В охолоджувачі Д5-ОТЕ [11] на зовнішню поверхню двостінного барабану тонким шаром подається сир після відведення сироватки. Між зовнішнім і внутрішнім циліндрами розміщена теплообмінна сорочка, по якій циркулює розсіл.

Дотикаючись до холодної поверхні сир примерзає, охолоджується за 12–13 с і зрізається паралельно встановленим до поверхні ножом. Недоліком такого апарату є відкрита поверхня охолодження, що знижує санітарні показники обладнання. В охолоджувачі типу ОТД (рис. 6) процес охолодження проходить в закритому потоці на внутрішній поверхні двох паралельно розміщених циліндрів з теплообмінною сорочкою, в яку подається розсіл.

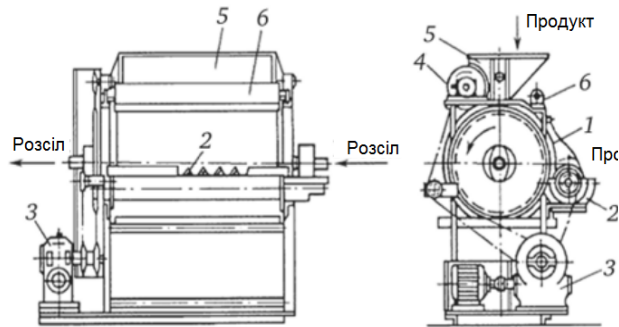


Рис. 5. Охолоджувач сиру кисломолочного Д5-ОТЕ:  
1 – двостінний барабан; 2 – шнек; 3 – привід; 4 – валик;  
5 – завантажувальний бункер; 6 – ніж

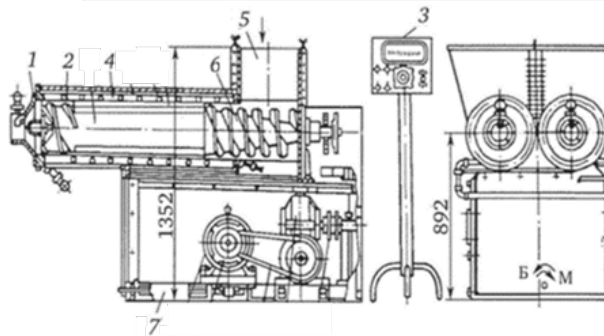
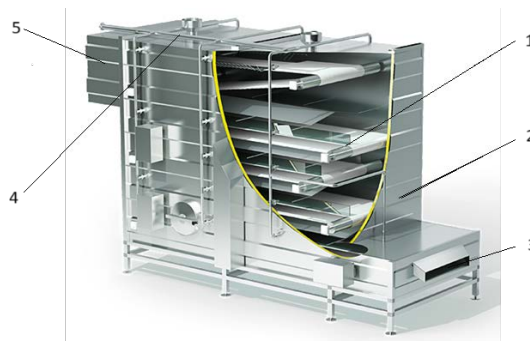


Рис. 6. Двоциліндровий охолоджувач ОТД: 1 – конусний патрубок;  
2 – развантажувальні витки; 3 – пульт; 4 – теплообмінна сорочка; 5 – бункер;  
6 – приймальна частина; 7 – станіна

В середині циліндрів розміщений витиснювальний барабан, який конструктивно розділений на три частини. У центральній частині розміщено два ножі для очистки поверхні теплообміну і уникнення замерзання сиру, в передній і задній частині витки шнеку для транспортування продукту. Такий спосіб охолодження призводить до руйнування структури і використовується в лініях роздільного виробництва.

Забезпечення кінцевої вологості і температури продукту обмежують продуктивність ліній, так оброблення згустку з однієї 10 тонної ємності займає приблизно 3 години. Тому в сучасних лініях пропонують комбінований процес відділення сироватки – охолодження або їх суміщення. Так в лінії tewes bis суміш сиру і сироватки спочатку подається на трубчастий охолоджувач, далі відділення сироватки проходить на стрічковому транспортері в закритому потоці і кінцеве охолодження на двошнековому охолоджувачі, що супроводжується частковим руйнуванням структури.

У машині DONI Coolmatic [19] відділення сироватки проходить одночасно з охолодженням на стрічкових транспортерах, розміщених один над одним (рис. 7).

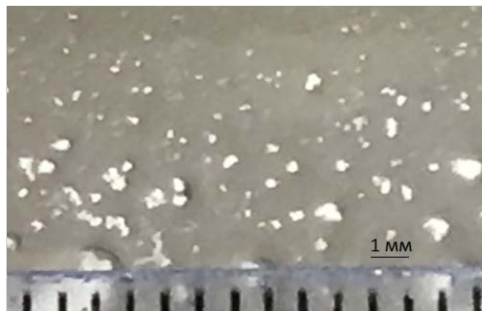


*Рис. 7. Машина DONI Coolmatic для одночасного відділення сироватки та охолодження продукту: 1 – дренажна стрічкова системи; 2 – корпус; 3 – патрубок для подачі холодного повітря; 4 – трубопроводи системи СІР-миття; 5 – вузол подачі продукту*

Продукт пересипається з верхньої стрічки на нижню, одночасно продувається охолодженим повітрям. Такий процес визначається високою енергоємністю. Проте в обох випадках виникають проблеми як із забезпеченням кінцевої температури так і з кінцевою вологістю готового продукту. Процес самовільного відділення сироватки від білка значно сповільнюється при охолодженні маси до температури нижче 25 °С тому необхідне доохолодження продукту в камері.

Розглянуті машино-апаратні лінії не передбачають комплексну переробку сировини. Сироватка, утворена при виробництві основного продукту, створює значне екологічне навантаження на довкілля, але є цінною сировиною оскільки містить значну кількість лактози і білку [2, 3], який знаходиться у вигляді дисперсної фази казеїну (сирний пил) [20–22] і альбуміну. В той же час сироватку можна повністю переробляти за відомими технологіями [23–25], які використовуються при виробництві твердих сирів і економічно обґрунтовані при великих об'ємах виробництва.

Підвищення степені механізації технологічного процесу призводить до збільшення маси сирного пилу (рис. 8) в результаті дії перемішувачів і транспортуючих засобів, тому важливим і першим етапом переробки сироватки є її очищення від сирного пилу [7, 8].



*Рис. 8. Фото сирного пилу, відділеного із сироватки, отриманої при виробництві сиру кисломолочного*

Відділений білок є повноцінною сировиною і може в подальшому використовуватись при виробництві плавлених сирів та інших продуктів. Тому навіть при невеликих об'ємах виробництва доцільно виділити білкову дисперсну фазу, яка утворюється в результаті механічної дії устаткування на продукт (фільтрування, сепарування).

Перспективним є використання ультрафільтрації для виробництва сиру кисломолочного. Як відомо сироватка становить 80–90% першопочаткового об'єму сировини. Разом із сироваткою відводиться частина жиру, при виробництві жирних сортів сиру кисломолочного та значна кількість цінних білків. Ультрафільтрація дозволяє зменшити втрати, збільшити вихід готового продукту і зробити продукт більш біологічно цінним. Найбільш перспективними в даному відношенні є процеси ультра і мікрофільтрації. Молоко концентрують на установках ультрафільтрації, після цього пастеризують, охолоджують і сквашують. В даному випадку вихід сиру кисломолочного може становити 100% від затраченої сировини, і, таким чином, сироватка буде відсутня. Так при традиційному способі витрачається 4,6–4,7 кг молока на виробництво 1кг продукту, а при використанні ультрафільтрації – 3,2–2,5 кг. Однак, утворений сирний згусток відрізняється смаком і консистенцією від традиційного сиру кисломолочного.

**Висновки.** З точки зору сталого розвитку (якість, санітарія, втрата сировини) для сквашування молока і утворення структури сиру перевагу необхідно надавати закритим апаратам горизонтального типу.

Механізація процесів виробництва призводить до підвищених втрат сировини у вигляді сирної пилюки. Тому навіть при невеликих об'ємах виробництва доцільно проводити очищення сироватки від сирної пилюки.

З точки зору вимог сталого розвитку (екологія, сировина) необхідно забезпечити повне перероблення початкового молока (в подальшому сироватки) збільшуючи концентрацію виробництва, або створенням окремих заводів для перероблення сироватки.

Розвивати нові технології і обладнання для виробництва сиру кисломолочного на основі ультрафільтраційного оброблення молока, а також інших продуктів з використанням сиру кисломолочного.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ведмеденко О., Суrowsицький П. Сучасний стан молочної промисловості в Україні. Актуальні питання харчової промисловості та перспективи розвитку галузі. 2021. С. 110-112.

2. Тютюкова Д. О. Аналіз технологій продукції з сиру кисломолочного як передумова інноваційного задуму нової продукції / Д. О. Тютюкова, Н. Г. Гринченко, П. П. Пивоваров, О. О. Гринченко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. №. 1. 2017. С. 103-117.

3. Korzun, V.N., Antonyuk, I.Yu., "Technology cottage cheese casseroles with high nutritional value" ["Tekhnologiya zapikanok iz kislomolochnoho siру pidvishchenoi harchovoi cinnosti"], Scientific works, ONAHT, No. 41, Vol. 2, 2014 pp. 63-67.

4. Грек О.В. Технологія сиру кисломолочного та сиркових виробів. К.: Нухт, 2009. 235 с.

5. Пелих В. Г., Шишман В. В., Ушакова, С. В. Особливості виробництва м'яких сирів з використанням рослинної клітковини. Таврійський науковий вісник. 2021. № 122 С. 258-262.

6. Бовкун А.О. Дослідження структурно-реологічних характеристик пастоподібного плавленого сиру // Вісник аграрної науки. – 2002 –№ 4.– С. 81-82.

7. Єресько Г.О., Гуляєв-Зайцев С.С., Бовкун А.О. Фізико-хімічні процеси виробництва пастоподібних плавлених сирів на основі кисломолочного сиру // Вісник аграрної науки. – 2001 – № 9. – С.62-64.
  8. Сир кисломолочний. Технічні умови: ДСТУ 4554:2006. – [чинний від 01-07-2007]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 14 с.
  9. Tratnik, L., Božanić, R., Mioković, G., Šubarić, D.. Optimization of manufacture and quality of Cottage cheese. *Food Technology and Biotechnology*, № 39, 2001. 43-48.
  10. Souza, J. L. F., Silva, M. A. P., Silva, R. C. F., Carmo, R. M., Souza, R. G., Célia, J. A., Oliveira, K. V., Plácido, G. R., Lage, M. E., Nicolau, E. S.. Effect of whey storage on physicochemical properties, microstructure and texture profile of ricotta cheese. *African Journal of Biotechnology*, 15(47). 2016. 2649-2658.
  11. Єресько, Г. О., Шинкарик, М. М., Ворошук, В. Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворошук В.Я. К.: «ІНККОС», 2007, 344 с.
  12. Wolfgang K. Heiland, Richard P. Konstance, Joseph F. Flanagan, James C. Craig Jr.. Design and Operation of an Experimental Cheese Processor. *Journal of Dairy Science*, 71(9), 1988. 2388-2394.
  13. Єресько, Г.О. Вплив високотемпературної обробки на сиропридатність молока / Г.О. Єресько, Ю.Т. Орлюк, Ф.А. Федін, Т.В. Семко // Вісник аграрної науки. № 1. 2008. С. 58-59.
  14. Орлюк Ю.Т. Реологічні особливості виробництва сиру / Ю.Т. Орлюк, М.М. Шинкарик, О.І. Кравець, М.Р. Коневич / Збірник наукових праць «Продовольчі ресурси» № 10. 2018 р. С. 226-231.
  15. Пат. на корисну модель № 87752 МПК А01J 25/00. Сировиготовлювач. Орлюк Ю.Т. Інститут продовольчих ресурсів НААН – заявл. 10.06.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.
  16. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: Vol 114. No 2. TNTU, 2024. P. 111-118.
  17. Bressan J. A., Carroad P. A. Heat Transfer During the Washing of Small Curd Cottage Cheese // *Journal of Food Science*. 1982. Vol. 47. No. 1. pp. 89-91.
  18. Emmons, D. V., Beckett, D. C., Campbell, J. N., Humbert, E. S.. Reduced washing of Cottage cheese and increased recovery of whey solids. № 11. 1978. 1815-1818.
  19. Інноваційні рішення у виробництві кисломолочного сиру (2019). ЕКОКОМ your assistant in milk processing. <https://www.ekokom.com/blog/innovacionnye-resheniya-v-proizvodstve-tvoroga>
  20. Кравець О.І. Відділення білкової дисперсної фази від сироватки як шлях економії сировини та підвищення екологічної безпеки / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. № 8. 2011. С. 13-16
  21. Shynkaryk M. Mathematical modelling of the separation of suspension process on the filter with self-purifier filter element / M. Shynkaryk, O. Kravets / *Ukrainian Food Journal*. № 1. 2016. P. 135-143.
  22. Кравець О.І. Фільтр із самоочисним фільтрувальним елементом для очистки молочної сироватки / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик / *Науковий журнал «Інтернаука»* – 2021 р. – № 3 (103). – С. 58-61.
  23. Romanchuk, I.O.; Minorova, A.V.; Krushelnytska, N.L. Physical-chemical composition and technological properties of demineralized milk whey received by membrane methods. *Agric. Sci. Pract.* 5(3), 2018, pp 33-39.
  24. Мінорова, А.В.; Романчук, І.О. Розроблення технології напоїв на основі молочної гідролізованої сироватки. *Молочна промисловість*. № 2(37). 2007. С. 34-36.
  25. Романчук, І.О.; Рудакова, Т.В. Технологія комбінованого молочного продукту тривалого строку зберігання. *Молочна промисловість*. № 2(27). 2006. С. 34-35.
-

## REFERENCES:

1. Vedmedenko O., & Surovytskyi P. (2021) Suchasnyi stan molochnoi promyslovosti v Ukraini. Aktualni pytannia kharchovoi promyslovosti ta perspektyvy rozvytku haluzi, pp. 110–112.
2. Tiutiukova D.O., Hrynchenko N.H., Pyvovarov P. P., & Hrynchenko O.O. (2017). Analiz tekhnolohii produktsii z syru kyslomolochnoho yak peredumova innovatsiinoho zadumu novoi produktsii. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli, 1, S. 103-117.
3. Korzun, V.N., & Antonyuk, I.Yu. (2014), "Technology cottage cheese casseroles with high nutritional value" ["Tekhnologiya zapikanok iz kyslomolochnoho siru pidvishchenoi harchovoi cinnosti"], ONAHT, 2(41), pp. 63-67.
4. Hrek O.V. (2009). Tekhnolohiia syru kyslomolochnoho ta syrkovykh vyrobiv. K.: Nukht, 235 s.
5. Pelykh V. H., Shyshman V. V., & Ushakova S. V. (2021). Osoblyvosti vyrobnytstva miakykh syriv z vykorystanniam roslynnoi klitkovyny. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 122, S. 258-262
6. Bovkun A.O. (2002). Doslidzhennia strukturno-reolohichnykh kharakterystyk pastopodibnoho plavlenoho syru. Visnyk aharnoi nauky, 4, S.81-82.
7. Yeresko H.O., Huliaiev-Zaitsev S.S., & Bovkun A.O. (2001). Fyzyko-khimichni protsesi vyrobnytstva pastopodibnykh plavlenykh syriv na osnovi kyslomolochnoho syru. Visnyk aharnoi nauky, №9, S.62-64.
8. Syr kyslomolochnyi. (2007). Tekhnichni umovy: DSTU 4554:2006. – [chynnyi vid 01–07–2007]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 14s.
9. Tratnik, L., Božanić, R., Mioković, G., & Šubarić, D. (2001). Optimization of manufacture and quality of Cottage cheese. Food Technology and Biotechnology, 39, 43-48.
10. Souza, J. L. F., Silva, M. A. P., Silva, R. C. F., Carmo, R. M., Souza, R. G., Célia, J. A., Oliveira, K. B., Plácido, G. R., Lage, M. E., & Nicolau, E. S. (2016). Effect of whey storage on physicochemical properties, microstructure and texture profile of ricotta cheese. African Journal of Biotechnology, 15(47), 2649-2658.
11. Yeresko, H. O., Shynkaryk, M. M., & Voroshchuk, V. Ya. (2007). Tekhnolohichne obladnannia molochnykh vyrobnytstv. Yeresko H.O., Shynkaryk M.M., Voroshchuk V.Ia. K.: «INKOS», 344 s.
12. Wolfgang K. Heiland, Richard P. Konstance, Joseph F. Flanagan, James C. & Craig Jr. (1988). Design and Operation of an Experimental Cheese Processor. Journal of Dairy Science, 71(9), 2388-2394.
13. Yeresko, H.O., Orliuk Yu.T., Fedin F.A., & Semko T.V. (2008). Vplyv vysokotemperaturnoi obrobky na syropydatnist moloka. Visnyk aharnoi nauky. № 1, 2008, S. 58-59.
14. Orliuk Yu.T., Shynkaryk M.M., Kravets O.I., & Konevych M.R. (2018). Reolohichni osoblyvosti vyrobnytstva syru. Prodovolchi resursy, № 10, S. 226-23115.
15. Orliuk Yu.T. (2014). Pat. na korysnu model № 87752 MPK A01J 25/00. Syrovyhotovliuvach. Instytut prodovolchykh resursiv NAAN – zaiavl. 10.06.2013; opubl. 25.02.2014, Biul. № 4.
16. Kravets O., Shynkaryk M., & Kravets V. (2024). Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises. Scientific Journal of TNTU, 2(114), P. 111-118.
17. Bressan J. A., & Carroad P. A. (1982). Heat Transfer During the Washing of Small Curd Cottage Cheese. Journal of Food Science, 1(47), pp. 89-91.
18. Emmons, D. B., Beckett, D. C., Campbell, J. N., & Humbert, E. S. (1978). Reduced washing of Cottage cheese and increased recovery of whey solids, 2(13), 13-17.
19. Innovatsiini rishennia u vyrobnytstvi kyslomolochnoho syru (2019). EKOKOM your assistant in milk processing. <https://www.ekokom.com/blog/innovacionnye-resheniya-v-proizvodstve-tvoroga>.

20. Kravets O.I., & Shynkaryk M.M. (2011). Viddilennia bilkovoï dyspersnoi fazy vid syrovatky yak shliakh ekonomii syrovyny ta pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky. Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu, 8, S. 13-16.
  21. Shynkaryk M.M., & Kravets O.I. (2016). Mathematical modelling of the separation of suspension process on the filter with self-purifier filter elemento Ukrainian Food Journal, № 1, P. 135-143.
  22. Kravets O.I., & Shynkaryk M.M. (2021). Filtr iz samoochysnym filtruvalnym elementom dlia ochystky molochnoi syrovatky. Naukovyi zhurnal «Internauka», 3 (103), S. 58-61.
  23. Romanchuk, I.O., Minorova A.V., & Krushelnytska N.L. (2018). Physical-chemical composition and technological properties of demineralized milk whey received by membrane methods. Agric. Sci. Pract., 5(3), pp. 33-39.
  24. Minorova A.V., & Romanchuk I.O. (2007). Rozroblennia tekhnolohii napoiv na osnovi molochnoi hidrolizovanoi syrovatky. Molochna promyslovist, 2(37), S. 34-36.
  25. Romanchuk I.O., & Rudakova T.V. (2006). Tekhnolohiia kombinovanoho molochnoho produktu tryvaloï stroku zberihannia. Molochna promyslovist, 2(27). S. 34-35.
-



УДК 614.9:579. 62:613, 287:613,287.5  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.25>

## РОЗРОБКА БАР'ЄРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОНСЕРВУВАННЯ НАТУРАЛЬНИХ КИШКОВИХ ОБОЛОНОК

**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

Наведені результати досліджень з розробки технології консервування кишкових оболонок з використанням речовин, що запобігають появі вад та сприяють поліпшенню органолептичних характеристик кишок у процесі зберігання при неконтрольованих температурних умовах (до +25°C), а також оцінки впливу консервування кишок на якісні характеристики готових ковбасних виробів. Дослідження свіжих кишкових оболонок показали, що за органолептичними, мікробіологічними, мікроструктурними та структурно-механічними характеристиками вони відповідають діючим технічним умовам та ветеринарно-санітарним вимогам до харчових продуктів. Встановлено, що усі дослідні зразки кишок, консервовані сіллю з додаванням лимонної кислоти в концентрації 1 та 2% до маси солі (дослід 1, 2), молочної кислоти в концентрації 2 та 5% до маси розсолу (дослід 4, 5), сорбінової кислоти (1%) (дослід 3) та оцтової кислоти (0,5% та 1%) з коптільним ароматизатором (1% маси розсолу) (дослід 10, 1), за всіма дослідженими показниками відповідали вимогам ТУ. Дослідні зразки кишок, оброблені консервуючими сумішами з використанням молочної кислоти «PURAK» виробництва фірми «Біохім» (1 і 2%) у поєднанні з коптільним ароматизатором (1%) та кухонною сіллю (досліди 6, 7), а також з використанням молочної кислоти «PURAK» (1 і 2%) у поєднанні з хлоридом натрію (досліди 8, 9), мали незначні ознаки псування (помутніння та ослизнення розсолу), які легко усувалися проливаючи кишок водою. Зразки, консервовані посолочними сумішами з використанням молочної кислоти «PURAK» у поєднанні з коптільною рідиною та кухонною сіллю (досліди 6, 7) та консервовані сіллю у поєднанні з молочною кислотою «PURAK» концентрації 1 і 2% (досліди 8, 9), через 3 місяці зберігання придбали затхлий гнильний запах, слизький наліт, великі колонії цвілі зеленого та чорного кольорів, оболонки рвалися при невеликому тиску води. Усі зразки було знято зі зберігання. Свинячі та баранячі черева, законсервовані посолочною сумішшю, що містить 2% молочної кислоти за ГОСТ 490-79, 1% коптільного ароматизатора, 25% кухонної солі та воду (досвід 4), а також 5% цієї ж кислоти, 2% коптільного ароматизатора, 25% солі та воду (дослід 5), через 3 місяці зберігання придбали затхлий гнильний запах, розсіл помутніло. Кишки вкрилися пліснявою і зняли з експерименту. Яловичі череви і синюги, законсервовані тими самими сумішами, мали коричнево-бежевий колір, слабкий запах молочної кислоти, консервуючий розчин у відсутності видимих дефектів якості.

**Ключові слова:** посолочна суміш, оболонки, кишкова сировина, череви, синюги, молочна кислота, ковбаса, консервуючий розчин.

### ***Prylipko T. M. Development of barrier technology for preserving natural intestinal membranes***

*The results of research on the development of technology for preserving intestinal casings using substances that prevent the appearance of defects and contribute to the improvement of organoleptic characteristics of casings during storage under uncontrolled temperature conditions (up to +25°C), as well as the assessment of the impact of preserving casings on the quality characteristics of finished sausage products are presented. Studies of fresh intestinal casings have shown that in terms of organoleptic, microbiological, microstructural and structural-mechanical characteristics they comply with the current technical conditions and veterinary and sanitary requirements for food products. It was established that all experimental samples of intestines preserved with salt with the addition of citric acid at a concentration of 1 and 2% by weight of salt (experiments 1, 2), lactic acid at a concentration of 2 and 5% by weight of brine (experiments 4, 5), sorbic acid (1%) (experiment 3) and acetic acid (0.5% and 1%) with smoke flavoring (1% by weight of brine) (experiment 10, 1), in all investigated indicators, met the requirements of the Technical Specifications. Experimental samples of intestines treated with preserving mixtures using lactic acid "PURAK" produced by the company "Biohim" (1 and 2%) in combination with*

smoke flavoring (1%) and table salt (experiments 6, 7), as well as using lactic acid. "PURAК" (1 and 2%) in combination with sodium chloride (experiments 8, 9) had minor signs of spoilage (turbidity and sliminess of the brine), which were easily eliminated by flushing the intestines with water. Samples preserved with salt mixtures using "PURAК" lactic acid in combination with smoking liquid and table salt (experiments 6, 7) and preserved with salt in combination with "PURAК" lactic acid in concentrations of 1 and 2% (experiments 8, 9), due to After 3 months of storage, they acquired a musty rotten smell, a slimy coating, large colonies of green and black mold, the shells broke at the slightest water pressure All samples were removed from storage. Pork and lamb bellies preserved with a salt mixture containing 2% lactic acid according to GOST 490-79, 1% smoking flavoring, 25% table salt and water (experiment 4), as well as 5% of the same acid, 2% smoking flavoring, 25% salt and water (experiment 5), after 3 months of storage acquired a musty rotten smell, brine got cloudy The intestines became covered with mold and were removed from the experiment. Beef bellies and blue cheese preserved with the same mixtures had a brownish-beige color, a weak smell of lactic acid, and the preservative solution had no visible quality defects.

**Key words:** salting mixture, casings, intestinal raw materials, bellies, blues, lactic acid, sausage, preserving solution.

**Постановка проблеми.** В умовах масового виробництва ковбасних виробів застосовують широкий спектр ковбасних оболонок: кишкових, целюлозних, фіброузних, білкових, поліамідних та ін. Хоча штучні оболонки мають багато переваг, у т.ч. дозволяють механізувати та автоматизувати процес формування та кліпсування ковбас, проте традиційно для вироблення ковбас високої якості використовують кишкові оболонки. Попит на них з кожним роком зростає, оскільки зростають обсяги виробництва традиційних ковбас [1, с. 4, 2, с. 107, 8, с. 85].

Вітчизняна промисловість не може задовольнити його через недостатню кількість поголів'я забійних тварин, низький технічний рівень кишкових цехів, застарілу технологію обробки та консервування, дефіцит фахівців у цій галузі, відсутність охолоджуваних камер для зберігання. Тому в даний час велика кількість кишкової сировини завозиться до України з-за кордону [5, с. 310, 7, с. 43].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням переробки, консервування та зберігання кишкової сировини присвячено низку робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [2, с. 67, 3, с. 100, 4, с. 105]. Багато з цих вчених досліджували якісні характеристики кишкової сировини, консервованої з використанням різних органічних речовин у складі посолочної суміші, і довели ефективність їх застосування, проте більшість із цих препаратів дорогі, в промисловості не використовуються, а їх вплив на якість та безпеку ковбасних виробів зовсім не вивчено.

На практиці в даний час для консервування кишкової сировини застосовують посол, у поодиноких випадках – сушіння або заморожування. Однак при порушенні умов зберігання або тривалого транспортування при підвищених температурних режимах оброблені кишкові оболонки, консервовані повареною сіллю, набуває таких пороків, як краснуха, пліснявіння, гниття та інші. Крім того, часто при тривалому зберіганні солоних кишок погіршуються їх органолептичні характеристики (колір, запах). Заморожені кишкові оболонки після відтавання втрачають властивості міцності через руйнування стінок кишок кристалами льоду. Сухі оболонки вимагають певних температурно-вологісних режимів зберігання, інакше вони уражаються пліснявою, крім того, існує ризик пошкодження сухих оболонок комахами, особливо в теплу пору року. Сировина з такими вадами не допускається у ковбасне виробництво і має бути утилізована, а виробник, відповідно, зазнає збитків [3, с.99, 4, 112].

**Постановка завдання.** У зв'язку з цим проблема ефективного консервування кишок, зберігання та транспортування при неконтрольованих температурних

режимах, поліпшення органолептичних властивостей кишкової сировини з використанням речовин, що не впливають на якість і безпеку ковбасних виробів, в даний час є актуальним завданням. Мета та завдання досліджень була розробка технології консервування кишкових оболонки з використанням речовин, що запобігають появі вад та сприяють поліпшенню органолептичних характеристик кишок у процесі зберігання при неконтрольованих температурних умовах (до +25°C), а також оцінка впливу консервування кишок на якісні характеристики готових ковбасних виробів [6, с. 17, 9, с. 163].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Консервувальні суміші готували в лабораторних умовах шляхом перемішування кухонної солі з кислотою (досліди 1–3) або змішування солі з коптільним ароматизатором (дослід 13) у певному співвідношенні, посолочні розчини готували шляхом послідовного розчинення інгредієнтів у воді (досліди 4–12) при температурі + 25°C. Причому, при приготуванні суміші з використанням 70% оцтової кислоти проводили перерахунок концентрації на 100% і після цього розраховували необхідну кількість кислоти для приготування 1%-ного розчину. При цій же температурі законсервували кишки кухонною сіллю (дослід 0). Контролем служили кишки, консервовані кухонною сіллю і зберігалися при температурі 0...10°C, відповідно до діючих технічних умов (ТУ).

Відібрану свіжу кишкову сировину досліджували за органолептичними, мікробіологічними, мікроструктурними та сгруктурмо-механічними показниками, потім були сформовані дослідні та контрольні партії, які були законсервовані відповідними посолковими сумішами та закладені на зберігання у скляну тару з щільно закупореними кришками ємністю. Через 3, 6 і 9 місяців зберігання проводився відбір проб для досліджень. Потім на базі ТОВ «Хуторянські ковбаси» з дослідних зразків консервованих кишок було вироблено ковбасні вироби.

Дослідження свіжих кишкових оболонок показали, що за органолептичними, мікробіологічними, мікроструктурними та структурно-механічними характеристиками вони відповідають діючим технічним умовам та ветеринарно-санітарним вимогам до харчових продуктів.

Органолептичну оцінку яловичих черев та синюг, свинячих та баранячих черев проводили після звільнення їх від солі шляхом прополіскування у воді при температурі 15...20°C, з подальшим замочуванням при температурі 20...25°C протягом 3 годин для надання стінкам кишок еластичність. Для виявлення ознак псування огляд проводили із зовнішньої та внутрішньої сторони. Еластичність стінок та наявність дірок визначали при проливанні водою. Результати органолептичної оцінки свинячих, баранячих та яловичих черев та синюг свідчать про те, що через 1 місяць зберігання кишки, консервовані лише кухонною сіллю (дослід 0, контроль) не мали видимих ознак псування та відповідали вимогам Технічних умов. Усі дослідні зразки кишок, консервовані сіллю з додаванням лимонної кислоти в концентрації 1 та 2% до маси солі (дослід 1, 2), молочної кислоти в концентрації 2 та 5% до маси розсолу (дослід 4, 5), сорбінової кислоти (1%) (дослід 3) та оцтової кислоти (0,5% та 1%) з коптільним ароматизатором (1% маси розсолу) (дослід 10, І), за всіма дослідженими показниками відповідали вимогам ТУ.

Дослідні зразки кишок, оброблені консервуючими сумішами з використанням молочної кислоти «PURAK» виробництва фірми «Біохім» (1 і 2%) у поєднанні з коптільним ароматизатором (1%) та кухонною сіллю (досліди 6, 7), а також з використанням молочної кислоти. «PURAK» (1 і 2%) у поєднанні з хлоридом натрію (досліди 8, 9), мали незначні ознаки псування (помутніння та ослизнення розсолу), які легко усувалися проливкою кишок водою.

Кишки, консервовані копильною рідиною в концентрації 15% до маси солі (дослід 13), а також копильним ароматизатором у концентрації 1% до маси води (дослід 12), мали неоднорідний, дуже темний (коричневий) колір, сильний запах диму з відтінком затхлості, покрилися пліснявою, а також були сильно зневоднені, тому подальші експерименти з ними не проводились. Через три місяці зберігання зразки свинячих, яловичих черев та синюг, консервовані традиційним способом кухонною сіллю (дослід 0), при зберіганні в умовах позитивних температур потемніли, покрилися пліснявою та краснухою, черев та синюги мали сторонній запах, не властивий кишкам; стінки кишок не витримували тиск води при проливці. Дані вади не усувалися проливкою та замочуванням, зразки було знято з експерименту. У зразках баранячих черев такі вади були виявлені через 4–5 місяців зберігання і потім також були зняті з експерименту. Зразки, консервовані посолочними сумішами з використанням молочної кислоти «PURAK» у поєднанні з копильною рідиною та кухонною сіллю (досліди 6, 7) та консервовані сіллю у поєднанні з молочною кислотою «PURAK» концентрації 1 і 2% (досліди 8, 9), через 3 місяці зберігання придбали затхлий гнильний запах, слизький наліт, великі колонії цвілі зеленого та чорного кольорів, оболонки рвалися при невеликому тиску води. Усі зразки було знято зі зберігання.

Свинячі та баранячі черева, законсервовані посолочною сумішшю, що містить 2% молочної кислоти за ГОСТ 490-79, 1% копильного ароматизатора, 25% кухонної солі та воду (досвід 4), а також 5% цієї ж кислоти, 2% копильного ароматизатора, 25% солі та воду (дослід 5), через 3 місяці зберігання придбали затхлий гнильний запах, розсіл помутніло. Кишки вкрилися пліснявою і зняли з експерименту. Яловичі черев та синюги, законсервовані тими самими сумішами, мали коричнево-бежевий колір, слабкий запах молочної кислоти, консервуючий розчин у відсутності видимих дефектів якості.

Зразки кишок, законсервовані з лимонною (дослід 1, 2), сорбінової (дослід 3) і оцтової кислот у поєднанні з копильним ароматизатором (дослід 10, 1) відповідали вимогам ТУ. Через шість та дев'ять місяців зберігання дослідні зразки, консервовані посолочними сумішами, що містять 1% сорбінової кислоти до маси солі (дослід 3), 1 та 2% лимонної кислоти до маси солі (досвід 1) та 1% оцтової кислоти у поєднанні з 1% копильного ароматизатора (дослід 11), а також контрольні зразки відповідали вимогам Технічних умов на кишки свинячі та яловичі оброблені. Баранові черев та синюги через 9 місяців зберігання були сильно зневоднені. Крім того, всі оболонки, консервовані сумішшю лимонної кислоти в концентрації 2% маси солі (дослід 2), після 9 місяців зберігання також були сильно пересушені, однак інших дефектів якості не спостерігалось.

Яловичі черев та синюги, законсервовані розчином молочної кислоти в кількості 5% до маси насиченого розсолу, а також усі види кишок, консервовані розчином оцтової кислоти в кількості 0,5% у поєднанні з 1% копильного ароматизатора, через 6 місяців зберігання потемніли. гнильний запах, розсіл помутніло. кишках чітко проглядалися колонії цвілі зеленого кольору.

Експериментальні дані органолептичної оцінки законсервованої кишкової сировини показали, що найбільш ефективними сумішами, що консервують, для збереження якості кишок в процесі зберігання при позитивних температурах є: розчин, що містить оцтову кислоту в концентрації 1%, копильний ароматизатор в кількості 1% і 25% кухонної солі (дослід 1), а також консервуючі суміші – 1% лимонної кислоти до маси солі (дослід 1) та 1% сорбінової кислоти до маси солі (дослід 3).

Результати мікробіологічних досліджень законсервованої кишкової сировини через 3 місяці зберігання показали, що зразки кишок, консервовані з використанням кухонної солі (дослід 0) та молочної кислоти «PURAK» у поєднанні з коптільним ароматизатором (досліди 6, 7) і без нього (досліди 8, 9), а також законсервовані водним розчином коптільного ароматизатора (дослід 12) та сумішшю ароматизатора з кухонною сіллю (дослід 13), мали ознаки псування. У 1 г подрібнених кишок було виявлено бактерії групи кишкової палички, плісняви та дріжджі, вміст яких не допускається санітарно-гігієнічними вимогами. Виходячи з результатів мікробіологічних досліджень різних видів кишок від різних видів забійних тварин, можна зробити висновок, що кишкова сировина, консервована кухонною сіллю і зазначеними сумішами, що консервують, при температурі +23...+25°C можна зберігати не більше одного місяця, що було підтверджено та органолептичними дослідженнями.

Всі інші зразки через 3 місяці зберігання відповідали вимогам Технічних умов, була відсутня санітарно-показова та патогенна мікрофлора. Загальна кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів перебувала в межах норми.

Результати мікробіологічних досліджень через 6 місяців зберігання показали, що зразки, законсервовані посолочною сумішшю, що містить молочну кислоту в концентраціях 2 і 5% (досліди 4, 5), а також оцтову кислоту в концентрації 0,5% та коптільний ароматизатор у кількості 1% (дослід 10) не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам. У них були виявлені плісняви та дріжджі, однак у них були відсутні бактерії групи кишкової палички та патогенна мікрофлора. Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що молочна та оцтова кислоти у зазначених концентраціях мають бактеріостатичну дію проти бактерій групи кишкової палички та патогенної мікрофлори, але не перешкоджають зростанню плісняви та дріжджів. Дані зразки кишок були визнані зіпсованими, зняті з хропіння і далі не досліджувалися.

Мікробіологічні показники кишкової сировини, законсервованої посолочними сумішами, що містять 1 та 2% лимонної кислоти до маси солі (досліди 1, 2), а також 1% сорбінової кислоти (дослід 3) та 1% оцтової кислоти у поєднанні з 1% коптільного ароматизатора до маси солі (дослід 1), а також контрольних зразків 8 процесі зберігання в умовах високих позитивних температур (+23...25°C) через 6 і 9 місяців зберігання, відповідали вимогам Технічних умов, в них була відсутня санітарно-показова та патогенна мікрофлора. Загальна кількість мезофільних аеробних і анаеробних мікроорганізмів знаходилася в межах норми. Дослідження законсервованих кишок на 0-му місяці зберігання показали, що при їх обробці сумішшю сухої кухонної солі з лимонною (дослід 1, 2) та оцтової (дослід 11) кислотами, у невеликій кількості виявляються дріжджі, що не допускається санітарно-гігієнічними вимогами. Однак візуально ознаки псування не прожилися, патогенна мікрофлора та БГКП були відсутні. У зразках свинячої череві, консервованої тими ж сумішами, плісняв виявлено не було.

Отже, можна дійти висновку, що консервуючі суміші солі з лимонної і оцтової кислотами мають достатнім актериостатическим ефектом проти дріжджів лише до 9 місяців зберігання кишок при досліджуваних температурах. Відповідно до схеми експерименту на наступному етапі досліджень визначали хімічний склад законсервованих свинячих, баранячих, яловичих черев та яловичих синюг залежно від посолочної суміші та терміну зберігання.

Дослідження хімічного складу дослідних зразків кишкових оболонок показали, що незалежно від складу консервуючої суміші та виду кишкової оболонки

протягом усього терміну зберігання спостерігалось їх часткове зневоднення. Вміст вологи в свинячих черевах порівняно з вихідною сировиною після 3-місячного зберігання знижувалось на 24,8–35,6%, у баранячих черевах – на 19,7–27,3%, у яловичих черевах та синюгах – на 10,7–17,4% та 13,0–15,2% відповідно.

У свинячих і баранячих черев вміст вологи було вище в середньому на 14,3 і 16%, для яловичих черев та синюг – на 8,5 та 6,8% відповідно. Дослідні дані свідчать про те, що вміст вологи було більше у зразках кишок, законсервованих у 25%-ному розчині кухонної солі. Разом з тим видно, що до 9 місяців зберігання у зразках (дослід 3 та 11), законсервованих сухою кухонною сіллю з додаванням 1% сорбінової кислоти та концентрованим розчином кухонної солі з 1% оцтової кислоти та 1% коптильного ароматизатора, вміст вологи був вищим, ніж у зразках (дослід 1 і 2), законсервованих сухою кухонною сіллю з додаванням 1% та 2% лимонної кислоти. Ці дані свідчать про те, що лимонна кислота зневоднює кишкову сировину сильніше, ніж сорбінова та оцтова. Встановлено, що протягом усього терміну зберігання внаслідок поступового випаровування вологи у консервованих кишках підвищується вміст жиру та білка у перерахунку на суху речовину. У контрольних зразках кишок також відзначається високий вміст жиру і білка при більш значному зневодненні.

Таблиця 1

**Мікробіологічні показники кишкової сировини**

Зразки	КМАФА нМ, КОЕ/г, в 1 г не більше	БГКП, в 1 г продукту	Патогенні, в т.ч. сальмонели в 25 г продукту	Stap. Aureus	Плісняви, 1 г	Дріжджі, в 1 г
				в 1 г продукту		
Норми з МБТ	$5 \times 10^6$	не допустимі	не допустимі	не допустимі	не допустимі	не допустимі
Початкова сировина	$3 \times 10^2$	-	-	-	-	-
3 місяці зберігання						
Дослід 0	$4 \times 10^6$	виявлено	-	-	530	15
Дослід 6	$3 \times 10^4$	виявлено	-	-	8	6
Дослід 7	$4 \times 10^2$	виявлено	-	-	6	3
Дослід 8	$5 \times 10^5$	виявлено	-	-	15	6
Дослід 9	$6 \times 10^3$	виявлено	-	-	14	8
Дослід 12	$2 \times 10^2$	виявлено	-	-	9	12
Дослід 13	$3 \times 10^3$	виявлено	-	-	10	4
6 місяців зберігання						
Дослід 4	$1 \times 10^2$	-	-	-	7	15
Дослід 5	$1 \times 10^2$	-	-	-	1	2
Дослід 10	$1 \times 10^2$	-	-	-	9	5
Дослід 11	$1 \times 10^4$	-	-	-	-	-
10 місяців зберігання						
Дослід 1	$3 \times 10^3$	-	-	-	-	1
Дослід 2	$2 \times 10^2$	-	-	-	-	3
Дослід 3	$1 \times 10^2$	-	-	-	-	-
Дослід 11	$6 \times 10^4$	-	-	-	-	2
Контроль	$3 \times 10^4$	-	-	-	-	-

Після 3 місяців зберігання максимальна кількість солі зафіксована в контрольних зразках кишок консервованих тільки кухонною сіллю в дослідних зразках її вміст на 1–2% менше. З часом зберігання кількість солі в кишках трохи збільшується, особливо у зразках, консервованих сумішшю солі з лимонною кислотою (дослід 1, 2), за рахунок дифузійного процесу проникнення солі в тканину кишок, який протікає інтенсивніше при сухому посолі. Визначення пероксидного числа жиру консервованих кишок показало відсутність окисних змін у всіх експериментальних зразках протягом усього терміну зберігання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Баль-Прилипка Л.В. Актуальні проблеми та характеристика стану м'ясної промисловості України. *Мясное дело*. Київ: 2010. №9. С. 4-17.
2. Баль-Прилипка Л.В. Інноваційні технології якісних та безпечних м'ясних виробів: монографія. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2012. 207 с.
3. Bal'-Prilipko, L. V., Palyka, N. V., Leonova, B. I., Starkova, E. R., Brona, A. I. Trends, Achievements And Prospects Of Biotechnology In The Food Industry. *Mikrobiolohichnyi zhurnal*. 2016. Vol. 78(3). p. 99-111.
4. Гончаров Г.І. Технологія первинної переробки худоби і продуктів забою: підручник. Київ: НУХТ, 2003. 160 с.
5. Пересічний М.І. Технологія продуктів харчування функціонального призначення: монографія. Київ: КНТЕУ, 2008. 718 с.
6. ДСТУ 8380:2015 М'ясо та м'ясні продукти. Метод вимірювання масової частки жиру. Чинний від 2017-07-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017.
7. Приліпка Т.М., Федорів В.М. Методи сучасних видів експертизи якості, ідентифікації фальсифікації продовольчої сировини тваринного походження *Вісник Львівського торговельно-економічного університету Технічні науки. Харчові технології*. 2023. №35. С.43-48.
8. Prylipko, T.M., Prylipko, I.V. (2016) Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects*. Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016. S. 85-89.
9. Чередніченко О.О. До питання виробництва і збереження якості м'яса та м'ясопродуктів. *Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту*. 2007. №. 110 (ч 2). С. 163-165.

### REFERENCES:

1. Bal-Prylypko L.V. (2010). Aktualni problemy ta kharakterystyka stanu miasnoi promyslovosti Ukrainy. [Actual problems and characteristics of the state of the meat industry of Ukraine]. *Miasnoe delo*. Kyiv. № 9. С. 4-17 [in Ukrainian].
2. Bal-Prylypko L.V. (2012). Innovatsiini tekhnolohii yakisnykh ta bezpechnykh miasnykh vyrobiv. [Innovative technologies of high-quality and safe meat products]: monohrafiia. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 207 s. [in Ukrainian].
3. Bal'-Prilipko, L.V., Palyka, N.V., Leonova, B.I., Starkova, E.R., Brona, A.I. (2016). Trends, Achievements And Prospects Of Biotechnology In The Food Industry. *Mikrobiolohichnyi zhurnal*. Vol. 78(3). p. 99-111 [in Ukrainian].
4. Honcharov H.I. (2003). Tekhnolohiia pervynnoi pererobky khudoby i produktiv zaboju: pidruchnyk. Kyiv: NUKhT, 160 s. [in Ukrainian].
5. Peresichnyi M.I. Tekhnolohiia produktiv kharchuvannia funktsionalnoho pryznachennia [Technology of functional food products]. (2008): monohrafiia. Kyiv: KNTEU. 718 s. [in Ukrainian].
6. DSTU 8380:2015 Miaso ta miasni produkty. Metod vymiriuvannia masovoi chastky zhyru. [Meat and meat products. The method of measuring the mass fraction of fat]. (2017). Chynnyi vid 2017-07-01. Vyd. ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

7. Prylipko T.M., Fedoriv V.M. (2023). Metody suchasnykh vydiv ekspertyzy yakosti, identyfikatsii falsyfikatsii prodovolchoi syrovyny tvarynnoho pokhodzhennia Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu Tekhnichni nauky. Kharchovi tekhnolohii. № 35. S.43-48 [in Ukrainian].

8. Prylipko, T.M., Prylipko, I.V. (2016) Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects*. Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016. S. 85-89 [in Ukrainian].

9. Cherednichenko O.O. (2007). Do pytannia vyrobnytstva i zberezhenia yakosti miasa ta miasoproduktiv. [To the issue of production and preservation of the quality of meat and meat products]. *Nauk. visn. Nats. ahrar. un-tu*. №. 110 (ч 2). С. 163-165 [in Ukrainian].



УДК 664.681.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.26>

## РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ХЛІБА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ПОДОВЖЕНИМ СТРОКОМ ПРИДАТНОСТІ

**Резвих Н. І.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

**Ахтеменко Т. П.** – магістрант II курсу біолого-технологічного факультету  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0009-0001-6742-3249

Стаття присвячена актуальному питанню розробки нових хлібобулочних виробів спеціального призначення, а саме для туристичних та військових потреб або у випадку виникнення надзвичайних ситуацій. Прототипом у цьому дослідженні став «Ірландський хліб», рецептура якого базується на використанні харчової соди та пахти. У процесі здійснення експерименту запропоновано декілька комбінацій сировинного складу та враховані втрати і відходи у виробництві, що складають 5,9%.

У зв'язку з цільовим використанням запропонованої продукції доцільно використати сировину, яка підвищить біологічну цінність класичного хліба. Тому пропонується здійснити заміну кефіру на пахту та сироватку, а цукор пісок на патоку та декстрозу. Для збагачення також рекомендовано додати житнє та кукурудзяне борошно. У якості рослинних жирів використано кукурудзяну олію.

Лабораторні дослідження показали ефективність таких рішень. Зразки характеризувались високою та рівномірною пористістю, яка складає 50%. Вміст вологи в м'якуші становить 46%. При цьому упікання зразків знаходилось на рівні 8%. За органолептичними властивостями найліпший отриманий екземпляр є більш цікавим у порівнянні з контролем. Вищевказані показники відповідають вимогам нормативної документації України, а саме ДСТУ 4583:2023. Тому отримана рецептура була представлена у відсотковому співвідношенні компонентів та з розрахунку на одну тонну готової продукції.

Для збереження якісних характеристик отриманої продукції рекомендовано здійснити консервування у термостійких паперових банках (розробки Акімото Йошихіко, Японія) з послідуною стерилізацією або у ПЕТ вакуум пакетах з пастеризацією. При цьому термін реалізації хліба збільшиться від шести місяців до одного року. Перспективами подальших досліджень є здійснення мікробіологічного контролю у процесі тривалого зберігання.

**Ключові слова:** хлібобулочні вироби, спеціальне призначення, рецептура, термін зберігання.

### **Rezvykh N. I., Akhtemenko T. P. Development of recipe composition of special purpose bread with extended expiration date**

The article is devoted to the topical issue of the development of new bakery products for special purposes, namely for tourist and military needs or in case of emergency situations. The prototype in this study was "Irish bread", the recipe of which is based on the use of baking soda and buttermilk. In the course of the experiment, several combinations of raw materials were proposed and losses and waste in production were taken into account, amounting to 5.9%.

In connection with the intended use of the proposed products, it is advisable to use raw materials that will increase the biological value of classic bread. Therefore, it is suggested to replace kefir with buttermilk and whey, and sugar with molasses and dextrose. For enrichment, it is also recommended to add rye and corn flour. Corn oil was used as vegetable fat.

Laboratory studies have shown the effectiveness of such solutions. The samples were characterized by high and uniform porosity, which is 50%. The moisture content in the pulp is 46%. At the same time, the baking of the samples was at the level of 8%. According to the organoleptic properties, the best sample obtained is more interesting compared to the control. The above indicators meet the requirements of the regulatory documentation of Ukraine, namely DSTU 4583:2023. Therefore, the obtained recipe was presented in percentage ratio of components and based on one ton of finished products.

*To preserve the quality characteristics of the obtained products, it is recommended to preserve them in heat-resistant paper cans (developed by Akimoto Yoshihiko, Japan) with subsequent sterilization or in polyethylene vacuum bags with pasteurization. At the same time, the expiration date of bread will increase from six months to one year. Prospects for further research are the implementation of microbiological control in the process of long-term storage.*

**Key words:** bakery products, special purpose, recipe, expiration date.

**Вступ.** Упродовж 2023 року в Україні зареєстровано 109 надзвичайних ситуацій. Ця достатньо велика кількість небезпечних подій супроводжується необхідністю забезпечити продовольством населення. У той же час відомі потреби військових та туристів, яким необхідно мати свіжі продукти за будь-яких умов. Тому технологічні рішення для довгострокового зберігання харчової продукції є надзвичайно корисними та потребують розвитку у відповідності до умов сучасності та технічного розвитку галузі.

**Постановка проблеми.** Вироблення продукції спеціального призначення наразі є одним з найактуальніших питань сьогодення. Такі асортименти мають відповідати багатьом вимогам, зокрема мати високу біологічну цінність та довгий строк придатності при відсутності особливих умов. Це стосується також такого базового для споживання продукту як хліб. Враховуючи високу цінову політику імпортованої подібної продукції, вважаємо необхідним розробити доступний асортимент широкому колу споживачів.

**Мета дослідження.** Метою статті є дослідження та розробка рецептурної композиції хліба з високою біологічною цінністю та пролонгованим терміном придатності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Достатньо велика кількість вчених досліджують можливості подовження строків придатності хліба. Зокрема Гаращенко Д. В. та Тарасюк Н. В. розглядають питання існуючих методів подовження строків придатності, зокрема використання біодеградованих пакувальних матеріалів [1]. Туркот Л. при цьому розглядає застосування крупнодисперсних проміжних продуктів помелу зерна, а саме дунстів, як один з перспективних у цьому питанні напрямків [2]. До прикладу Чорна А. І. запропонувала збагачувати харчові плівки бактерицидними біологічно активними речовинами для зменшення, інгібування або затримки росту мікроорганізмів на поверхні продукції [3]. Дробот В. І. та Сильчук Т. А., де використовували струми НВЧ з метою запобігання пліснявінню до кількох місяців у поєднанні із ферментним препаратом Новаміл у рецептурі [4].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У процесі розробки рецептури передбачене тестування декількох комбінацій рецептур, де досліджувалась можливість заміни деяких класичних компонентів задля покращення його властивостей:

1. заміна цукру на декстрозу, патоку або їх суміш (1:1) [5];
2. заміна кефіру на пахту, сироватку або їх суміш (2:1) [6];
3. заміна соняшникової олії на інші види з більшою біологічною цінністю.

Оскільки продукт, що розробляється, призначений до вживання під час активних фізичних навантажень (туристам або військовим) або під час надзвичайних ситуацій, вважаємо за доцільне обрати основною сировиною пшеничне цільно-зернове борошно. Також варто збагатити його іншими видами (житне та кукурудзяне) з метою підвищення біологічної цінності.

Під час розробки рецептури враховано, що середня кількість втрат і відходів у хлібопекарському виробництві становить від 5,9 до 6,5%. У цьому випадку приймаємо нижню границю цього показника.

Під час експериментальних досліджень прототипом розробки став «Ірландський хліб», оскільки виробляється він виключно на пахті. Додатково у такому виробі не використовують дріжджі. До того ж використання харчової соди у виробничих умовах значно спрощує технологічний процес [7].

Отримані зразки хлібобулочних виробів з вмістом пахти та сироватки мали найліпшу пористість, на відміну від екземплярів виключно на пахті, кефірі чи сироватці. Комбінація цієї сировини дає позитивний результат пишного м'якуша. Через заміну у складі класичного цукру-піску на патоку та декстрозу час підйому тіста під час випікання дещо збільшився, проте не вплинув на час випікання в цілому. Вважаємо, що заміна простих вуглеводів на сировину з багатим складом доцільна та сприяє підвищенню біологічної цінності виробу.

Рецептурний склад найкращого варіанту розроблених хлібобулочних виробів наведено у таблиці 1. Упікання зразків, виготовлених згідно запропонованої композиції, склало 8%. Вологість м'якуша становила 46%, а пористість 50%. Якщо порівнювати із показниками житньо-пшеничного хліба згідно контролю та нормативної документації, вважаємо отриманий результат сенсорно більш привабливим. Відповідно якісним параметрам запропонований хліб відповідає базовим вимогам ДСТУ 4583:2023 [8].

Таблиця 1

#### Рецептурна композиція запропонованого хліба

Найменування сировини	Норма витрат на 1 т готової продукції, кг	Відсоткове співвідношення, %
Пшеничне цільнозернове борошно	282,12	26,64
Патока	1,76	0,16
Декстроза	1,69	0,15
Житнє борошно	49,37	4,66
Сироватка	105,79	9,99
Непророщене жовте кукурудзяне борошно	40,91	3,86
Харчова сода	5,15	0,48
Пахта	205,17	19,37
Сіль	5,57	0,52
Кукурудзяна олія	7,76	0,73
Вода	352,65	33,3

Для збереження якісних характеристик розробленого хліба та пролонгування його терміну придатності для спеціальних цілей (туристів та військових, у випадку надзвичайних ситуацій) рекомендуємо використати одне з наступних пакувань та методик:

- пастеризація та пакування у ПЕТ вакуум-пакетах [9];
- укупорювання у паперових термостійких банках (розробки Акімото Йошикіо, Японія) з наступною стерилізацією [10].

Варто зазначити, що запропонована рецептура дозволяє отримати продукцію для масового виробництва, адже дозволяє його інтенсифікувати за рахунок скорочення часу вироблення партії у порівнянні з класичною технологією. Таким чином зменшуються витрати на робочу силу та енергоносії, що дозволяє застосувати

більш вартісну запропоновану сировину або пакування для пролонгованого зберігання. Тобто виробництво такого хліба буде доцільним.

**Висновки і пропозиції.** За результатами проведеного дослідження запропонована рецептура хлібобулочного виробу спеціального призначення з підвищеними біологічними властивостями. Отримані зразки мають показники якості, що відповідають чинній нормативній документації. Запропоновані шляхи подовження строку придатності розробленого асортименту, що включають застосування технологічних інновацій у галузі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гаращенко Д.В., Тарасюк Н.В. Технології запобігання псування хлібобулочних виробів. *Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання*: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 19–20 березня 2020 року. Черкаси. С. 434-436.

2. Туркот Л. Напрямки поліпшення хлібобулочних виробів. *Інновації розвитку харчових технологій та індустрії гостинності в контексті сучасних тенденцій готельно-ресторанного бізнесу*: I Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Тернопіль, 13 травня 2020 р. Тернопіль. С. 202-204.

3. Чорна А.І., Шульга О.С., Арсеньєва Л.Ю. Подовження строку зберігання харчових продуктів за допомогою антибактеріального пакування. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 28-29 травня 2021 р., м. Київ. С. 157-158.

4. Дробот В.І., Сильчук Т. А., Антонюк М.М. Оброблення житньо–пшеничного хліба струмами НВЧ з метою запобігання пліснявінню. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3791e472-4f68-43d2-b139-66abcac7d69e/content>

5. Субота В.В. Неповноцінне харчування та його наслідки. *Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції*, м. Черкаси, 3-4 листопада 2022 р. Черкаси. С. 234-237.

6. Синявський М. Сучасні підходи щодо удосконалення технології приготування безглютенових борошняних виробів спеціального призначення на основі сировини вітчизняного виробництва. *Менеджмент XXI століття: сучасні моделі, стратегії, технології*: VIII Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Вінниця, 8 жовтня 2021 р. Вінниця. Ч. 2. С. 296-302.

7. Ірландський содовий хліб. Смаколики: веб-сайт. URL: <https://www.smakolyky.com/baking/%D1%96%D1%80%D0%BB%D0%B0%D0%>

8. ДСТУ 4583:2023 Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна. Загальні технічні умови. Київ: Технічний комітет стандартизації «Хлібобулочні та макаронні вироби», 2023. 16 с.

9. MAP modified atmosphere packaging for food packages. Kangbate packaging machine: official website. URL: <https://uk.kbtfoodpack.com/food-related-technology/map-modified-atmosphere-packaging-for-food-packages/>

10. JP-2013027372 A bread in paper container and method for producing the same. Unified Patents, LLC: official website. URL: <https://portal.unifiedpatents.com/patents/patent/JP-2013027372-A>

### REFERENCES:

1. Harashchenko D.V., & Tarasyuk N.V. (2020). Technologies for preventing spoilage of bakery products. *Tourism and hotel and restaurant business in Ukraine: problems of development and regulation*: materials of the 11th International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, March 19-20, 2020. Cherkasy P. 434-436 [in Ukrainian].

2. Turkot L. Direction of improvement of bakery products. *Innovations in the development of food technologies and the hospitality industry in the context of modern trends in the hotel and restaurant business: I All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*, Ternopil, May 13, 2020. Ternopil. P. 202-204 [in Ukrainian].
  3. Chorna A.I., Shulga O.S., & Arsenyeva L.Yu. (2021). Extending the shelf life of food products using antibacterial packaging. *Health food products and dietary supplements: technologies, quality and safety: materials of the international scientific and practical conference*, May 28-29, 2021, Kyiv. P. 157-158 [in Ukrainian].
  4. Drobot V.I., Silchuk T.A., & Antoniuk M.M. (2020). Treatment of rye-wheat bread with microwave currents in order to prevent mold growth. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3791e472-4f68-43d2-b139-66abcac7d69e/content> [in Ukrainian].
  5. Subota V.V. (2022). Malnutrition and its consequences. *Integrative and innovative directions of development of the food industry: materials of the sixth international scientific and practical conference*, Cherkasy, November 3-4, 2022, P. 234-237 [in Ukrainian].
  6. Sinyavskiy M. (2021) Modern approaches to improving the technology of preparation of gluten-free flour products for special purposes based on domestic production raw materials. *Management of the 21st century: modern models, strategies, technologies: VIII All-Ukrainian scientific and practical internet conference*, Vinnytsia, October 8, 2021, Ch. 2. P. 296-302 [in Ukrainian].
  7. Irish soda bread. Treats: Website. URL: [in Ukrainian].
  8. DSTU 4583:2023 (2023) Rye bread and a mixture of rye and wheat flour. General technical conditions. Kyiv: Technical standardization committee "Bread and pasta products", 2023. 16 p. [in Ukrainian].
  9. MAP modified atmosphere packaging for food packages. Kangbate packaging machine: official website. URL: <https://uk.kbtfoodpack.com/food-related-technology/map-modified-atmosphere-packaging-for-food-packages/> [in English].
  10. JP-2013027372-A Bread in Paper Container and Method for Producing the Same. Unified Patents, LLC: official website. URL: <https://portal.unifiedpatents.com/patents/patent/JP-2013027372-A> [in English].
-

УДК 641.512:637.56-048.78

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.27>

## УДОСКОНАЛЕННЯ РИБНИХ СІЧЕНИХ СТРАВ З ДОДАВАННЯМ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**Стукальська Н. М.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології ресторанної та аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0001-6590-7170

**Кузьмін О. В.** – доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри технології ресторанної та аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0001-9321-6684

**Устинська К. Я.** – магістр  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0009-0003-5395-9995

На основі проведеного аналітичного огляду літератури встановлено актуальність наукової роботи, а саме: розширення асортименту рибних страв з використанням рослинної сировини, що обумовлено наявністю таких інгредієнтів, як незамінні амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти, пектинові, мінеральні речовини, харчові волокна.

Тому раціональним для розроблення кулінарної продукції є поєднання рибної сировини у якості джерела легкодоступних білків з продукцією рослинного походження для збагачення харчовими волокнами, вітамінами та мінералами. З метою розширення асортименту рибних страв в якості дослідного зразку обрано фішболи.

Експериментально встановлено, що вміст білків у м'ясі минтая складає 15,9%, а жиру – 0,9%. Оптимальним за збалансованістю амінокислотного складу визначено фарши з минтаю. На основі проведеного аналітичного огляду та вивчення інформаційних джерел при підборі сировинних інгредієнтів розроблено модельні композиції з використанням тюрє топінамбуру, пшеничних висівок та олії ріпакової.

При оптимізації процесу удосконалення рибних січених страв з додаванням рослинної сировини враховано та оптимізовано параметри технологічного процесу. На основі проведених досліджень розроблено технологію і визначено технологічні режими приготування фішболів з використанням минтаю та рослинної сировини (листя естрагону та топінамбуру). В технології приготування вилучено процес обмажування фішболів перед запіканням, повністю замінено хліб на рослинну сировину, а в якості паніровки використано пшеничні висівки.

В удосконалених січених напівфабрикатах відмічали покращення органолептичних властивостей, соковитості, збільшення кількості білків на 25,6%, харчових волокон в 5,5 разів. Покращується мінеральний та вітамінний склад. Біологічна цінність розроблених рибних січених страв з додаванням рослинної сировини становить 78%, а в контрольному зразку – 56,1%. Комплексний показник якості рибних фішболів з рослинною сировиною становить 0,73, а контрольного зразку – 0,66. Отримані позитивні результати дозволяють рекомендувати розроблену рецептуру для реалізації у закладах ресторанного господарства.

**Ключові слова:** рибна сировина, минтай, рибний фарши, фішболи, висівки, топінамбур.

### **Stukalska N. M., Kuzmin O. V., Ustynska K. Ya. Improvement of chopped fish dishes with the addition of vegetable raw materials**

On the basis of the conducted analytical review of the literature, the relevance of the scientific work was established, namely: the expansion of the assortment of fish dishes using vegetable raw materials, which is due to the presence of such ingredients as essential amino acids, polyunsaturated fatty acids, pectin, minerals, dietary fibers.

Therefore, it is rational for the development of culinary products to combine fish raw materials as a source of readily available proteins with products of plant origin to enrich them with dietary

*fibers, vitamins and minerals. In order to expand the assortment of fish dishes, fishballs were chosen as a test sample.*

*It was experimentally established that the protein content in pollock meat is 15.9%, and the fat content is 0.9%. Pollack minced meat was determined to be optimal in terms of the balance of the amino acid composition. On the basis of the conducted analytical review and study of information sources during the selection of raw ingredients, model compositions were developed using Jerusalem artichoke puree, wheat bran and rapeseed oil.*

*When optimizing the process of improving chopped fish dishes with the addition of vegetable raw materials, the parameters of the technological process were taken into account and optimized. On the basis of the conducted research, the technology was developed and the technological modes of cooking fishballs using pollock and vegetable raw materials (tarragon and Jerusalem artichoke leaves) were determined. In the cooking technology, the process of frying fishballs before baking has been removed, bread has been completely replaced with vegetable raw materials, and wheat bran has been used as a breading*

*Improved organoleptic properties, juiciness, an increase in the amount of proteins by 25.6%, and dietary fibers by 5.5 times were noted in the improved chopped semi-finished products. The mineral and vitamin composition improves. The biological value of the developed chopped fish dishes with the addition of vegetable raw materials is 78%, and in the control sample – 56.1%. The comprehensive indicator of the quality of fish balls with vegetable raw materials is 0.73, and that of the control sample is 0.66. The obtained positive results allow recommending the developed recipe for implementation in restaurants.*

**Key words:** fish raw materials, pollock, minced fish, fishballs, bran, Jerusalem artichoke.

Перед сучасним суспільством постає проблема неповноцінного харчування, обумовлена такими чинниками, як нестача енергії, одержуваної з продуктами харчування; брак поживних речовин і мікроелементів, у тому числі заліза, йоду та вітаміну А, від якого страждає близько двох мільярдів жителів планети; швидке зростання числа людей із надмірною масою тіла та хворобами, пов'язаними з порушенням харчування.

Таким чином, постає задача не тільки гарантованого отримання з їжею достатньої кількості калорій, але задоволення потреб у поживних та біологічних речовинах. Це можливо реалізувати шляхом створення нових продуктів, які будуть збалансованими за своїм хімічним складом, матимуть поліпшені фізико-хімічні та органолептичні показники. Зважаючи на це багато вчених намагаються удосконалити технологію приготування та розширити асортимент страв із риби.

Перспективною сировиною для збагачення рибних страв є рослинна сировина. Науковці Мельников К. О., Колісниченко Т. О., Мацук Ю. А. дослідили перспективність використання порошоків із дикорослих ягід для виготовлення страв із риби. Розроблено технологію виробництва рибо-рослинної страви «Кнелі з рибного мусліну з журавлиною» шляхом введення порошку із вичавок журавлини [1]. Внесення функціональних добавок у вигляді рослинної сировини, а саме порошку із журавлини, є ефективним, адже сприяє підвищенню біологічної та харчової цінності вихідної страви, що сприятливо впливатиме на організм людини.

К. Свідло розглядає введення комплексу з фосфоліпідного концентрату, шроту з гарбузового насіння, цистозіри у січену рибну масу з метою покращення органолептичних, мікробіологічних показників та надання кулінарній продукції функціонального профілю [2].

Аналіз літературних джерел щодо споживання риби населенням України свідчить про збільшення рибних страв в щоденному раціоні, оскільки це джерело повноцінних білків. Дослідження розробок вітчизняних та закордонних науковців щодо сучасного стану виробництва рибних січених страв свідчить про перспективність поєднання рибної та рослинної сировини. З огляду на дані промислового вилову риби в умовах військової агресії перспективним є використання продукції, яку надають спеціальні товарні рибні господарства. На основі опрацьованої

літератури перспективним є використання мінтаю та тріски. А в якості рослинної сировини обрано рослину клітковину та топінамбур.

З огляду на вищенаведену інформацію метою наукової роботи є науково-практичне обґрунтування та удосконалення рибних січених страв з додаванням рослинної сировини для закладів ресторанного господарства.

**Об'єкт дослідження:** технологія рибних страв з використанням рослинної сировини.

**Предмети дослідження:** риба (мінтай, тріска) (ДСТУ 4379), естрагон (ДСТУ 1919-91), топінамбур (ДСТУ 8046:2015), пшеничні висівки (ТМ «Сто Пудов», Україна ТУ У 82.9-31641954-003:2013), модельні харчові композиції, фішболи. Вся сировина відповідає чинному законодавству.

**Методи дослідження:** органолептичні, технологічні, структурно-механічні, математичні, а також методи дослідження поживної цінності удосконалених рибних січених страв.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В якості контрольного зразка використано рецептуру № 237 «Кульки рибні» [3].

Таблиця 1

#### Рецептура базової продукції – кульки рибні (контроль)

Сировина	Маса сировини, г	
	брутто	нетто
Риба (мінтай, тріска)	163	89
Хліб пшеничний	13	13
Молоко або вода	20	20
Цибуля ріпчаста	21	17
Олія рослинна	5	5
Яйця	24	10
Сіль	0,3	0,3
Сухарі пшеничні мелені	7	7
Перець чорний мелений	0,01	0,01
Вихід		120

Аналітичні дослідження свідчать, що раціональним для розроблення кулінарної продукції є поєднання рибної сировини у якості джерела легкодоступних білків з продукцією рослинного походження для збагачення харчовими волокнами, вітамінами та мінералами.

З метою розширення асортименту рибних страв, які б сподобались сучасному споживачу в якості дослідного зразку обрано фішболи. Рибні кульки популярні у Східній та Південно-Східній Азії, країнах Європи де їх подають як закуску або додають у гарячі страви.

За останні роки щорічний промисел мінтая складає близько 3,5 млн тонн, займаючи лідируючі позиції в світовому рибному промислі, забезпечуючи рибними продуктами, в тому числі, такі мережі як McDonald's, Nordsee.

Мінтай, як і тріска, відмінне джерело повноцінного тваринного білка, він також багатий на вітаміни і амінокислоти, легко засвоюється організмом. Мінтай трохи жирніший за тріску, тому за текстурою він трохи м'якший, тріска ж трохи щільніша. За вмістом ліпідів мінтай містить більше поліненасичених жирних кислот.



Відмінності у смакових якостях зовсім не значні. За харчовою та біологічною цінністю мінтай майже не відрізняється від тріски, а в чомусь і перевершує її, проте має велику перевагу через свою більш доступну вартість. Тому для подальших досліджень обрано філе мінтая сухого заморожування. Це надшвидка заморозка, при якій мінімально пошкоджується структура м'яса риби, і максимально зберігаються корисні та смакові властивості риби.

Досліджено параметри амінокислотної збалансованості рибного фаршу з мінтаю та тріски (табл. 2).

Таблиця 2

### Амінокислотний склад рибного фаршу з мінтаю

Амінокислоти	Вміст амінокислот, г/100 г білка		
	ФАО/ ВООЗ	Мінтай	Тріска
Ізолейцин	4	4,84	4,38
Лейцин	7	8,83	8,13
Лізин	5,5	9,71	9,38
Метіонин+цистин	3,5	4,78	6,88
Фенілаланін+тирозин	6	7,81	8,75
Треонін	4	5,05	5,63
Триптофан	1	1,31	1,31
Валін	5	5,31	5,62
Сума	36	47,64	50,08

Використання фаршу з тріски в харчових композиціях є недоречним з урахуванням низького значення коефіцієнтів раціональності 0,787 і високих показників порівнянної надмірності 9,735. Коефіцієнт Фішера для тріски становить 1,80 од.

Оптимальним за збалансованістю амінокислотного складу визначено фарш з мінтаю, що має значення коефіцієнта раціональності 0,803, показника порівнянної надмірності 8,859 та коефіцієнта Фішера 2,08. Таким чином, з урахуванням амінокислотної збалансованості та інших показників для використання в якості основного компонента харчових композицій обрано мінтай.

Співвідношення ПНЖК:МНЖК:НЖК у мінтаї становить 1:0,4:0,4. Відповідно до вимог ФАО/ВООЗ співвідношення ПНЖК: МНЖК: НЖК має бути 6:3:1, але ліпіди м'язової тканини риби не відповідають цим вимогам. Тому доцільним є введення в харчову композицію жирового компоненту – рослинної олії.

Незважаючи на високі значення амінокислотного скору білків мінтаю, є можливість поліпшення їх відповідності до «ідеального» білка ФАО/ВООЗ при створенні багатокомпонентних рибних фаршевих виробів.

За результатами аналізу літературних джерел визначено вміст поліненасичених жирних кислот в різних оліях (табл. 3).

Таблиця 3

### Жирні кислоти в різних оліях

Олія	$\omega$ -6	$\omega$ -3	Співвідношення
Ріпакова	19,6	9,4	2:1
Оливкова	8,3	0,9	9:1
Соняшникова	63,0	0,5	126:1
Кукурудзяна	55,3	0,9	61:1
Соєва	53,1	7,7	7:1
Лляна	17,1	7,2	2,3:1

Відомо, що надлишкова кількість  $\omega$ -6 є шкідливою для організму. І вирішальним фактором вважають співвідношення  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 В ріпаковій олії міститься найбільша кількість  $\omega$ -3 у формі альфа-ліноленової кислоти. За своїми біохімічними властивостями ріпакова олія не відстає від оливкової, а щодо окремих складників, навіть перевершує її: зокрема  $\alpha$ -ліноленової кислоти в ріпаковій олії більше. Вона містить вітамін Е 2,4 мг (16% RDA), вітамін К 10 мкг (9% RDA). Має присмний горіховий смак. У зв'язку з цим доцільно в модельних композиціях використати ріпакову олію замість соняшникової.

Останніми роками в ресторанному господарстві набуває популярності локаворство – харчування за географічним принципом. Все більше рестораторів розробляють меню враховуючи перелік продуктів місцевого виробництва та дотримуючись принципів сезонності [4]. Важливо використовувати нові нетрадиційні смакові поєднання та покращувати при цьому хімічний склад страви. Базуючись на даних трендах при формуванні модельних композицій використано локальну сировину – топінамбур, адже за останніми даними в Україні стрімко розвивається внутрішній ринок топінамбуру. Топінамбур багатий на клітковину, пектин, органічні кислоти, незамінні амінокислоти і мікроелементи. Особливо високий вміст кремнію та калію, заліза. У топінамбурі міститься в 5 разів більше заліза, ніж у бататі. Топінамбур містить 3,9 мг заліза, тоді як солодка картопля містить 0,69 мг. Топінамбур відрізняється від інших овочів підвищеним вмістом білка та значною кількістю інуліну, який легко засвоюється організмом.

В даний час існує проблема рафінування багатьох життєво необхідних для організму людини харчових продуктів, що поступово привело до дефіциту в харчуванні грубоволокнистих баластних речовин – харчових волокон. Джерелом харчових волокон є рослинна клітковина, яка міститься в рослинній сировині. Особливістю технології отримання рослинної клітини є повна відсутність впливу хімічних реагентів, тому рослинна клітковина є повністю натуральним продуктом.

При проведенні порівняльної характеристики хімічного складу вівсяних, пшеничних та рисових висівок було зроблено висновок, що найбільш калорійними є рисові висівки, вівсяні найбільш збагачені білками та вуглеводами, а пшеничні висівки містять найбільшу кількість харчових волокон. У вівсяних висівках містяться вітаміни групи В, ніацин та кальцій. Крім цього, продукт багатий на фосфор, тіамін, магній, залізо, цинк, калій і рибофлавін. З огляду на поживну цінність висівок обрано саме пшеничні висівки, які є джерелом нерозчинних харчових волокон. Пшеничні висівки мають легкий горіховий смак.

В якості контрольного зразку для проведення наукових досліджень використано рецептуру № 237 «Кульки рибні» (табл. 1). Основною сировиною для рибних січених страв є минтай (Alaska pollock). Вміст рибної сировини рецептурі складає  $\cong 74,16\%$ .

З метою збагачення кулінарної продукції ПНЖК в рибо-рослинну масу додавалась ріпакова олія. Попередніми проробками встановлено максимально можливу кількість олії – 5,6% до маси риби. Ріпакова олія обрана через переважний вміст лінолевої кислоти (26%) та ліноленової (10%) від загальної кількості жирних кислот. Співвідношення лінолевої кислоти до ліноленової є сприятливим (2,5:1).

Додатковими інгредієнтами, які покращують хімічний склад та органолептичні показники є топінамбур та пшеничні висівки (табл. 4).

При виготовленні модельних композицій використано пюре з топінамбуру в різних співвідношеннях до маси риби. При приготуванні пюре топінамбур попередньому запікали. Це дозволило розкрити горіхові нотки, які гарно поєднуються в страві з горіховим присмаком ріпакової олії.

Таблиця 4

**Рибо-рослинні модельні композиції**

Сировина	Контрольний зразок	МК1	МК 2	МК 3	МК 4
Минтай	89	89	91	92	92
Топінамбур	-	14	16	18	20
Хліб пшеничний	13	8	4	-	-
Молоко/вода	20	10	10	10	10
Цибуля ріпчаста	17	17	17	17	17
Листя естрагону	-	1	2	2	2
Яйця	10	10	9	8	8
Олія соняшникова	5	-	-	-	-
Олія ріпакова	-	5	5	5	5
Сухарі пшеничні	7	-	-	-	-
Пшеничні висівки	-	7	7	7	7
Маса напівфабрикату	120	120	120	120	120
Вихід готової страви	100	100	100	100	100

Для збагачення смаку і аромату при приготуванні модельних композицій додавали листя свіжого естрагону. Воно має яскраво виражену антиоксидантну властивість, покращує діяльність серцево-судинної системи, процесів травлення і мозкової активності. Листя містять аскорбінову кислоту, каротин, вітаміни групи В, РР, D. Також встановлено наявність пектинів, білка і корисних мінералів: калій, залізо, селен, магній, фосфор.

При проектуванні рибних січених страв за основу прийнята традиційна технологія та розроблено фішболи, де основними джерелами білка виступають минтай, молоко, хліб. Враховуючи можливість вдосконалення технології за рахунок додавання компонентів до модельної композиції, для покращення нутрієнтного складу зменшено кількість хлібу та молока, вилучено сухарі пшеничні. Натомість використано пюре топінамбуру та пшеничні висівки.

Встановлено, що гідратація пшеничних висівок у співвідношенні 1:8 дозволяє досягти величини водопоглинання  $\approx 95\%$ . Для використання пшеничних висівок в рецептурі доцільно проводити гідратацією молоком. Це покращить консистенцію готових страв та підвищить засвоюваність білка.

Введення олії до фаршу у кількості 5,6 % покращує співвідношення лінолевої та ліноленової кислот (табл. 5).

Визначено, що розроблена модельна харчова композиція на основі рибного фаршу має властивості пластично-в'язких матеріалів (за рівнянням Гершеля-Баклі). Вона представляє собою білкову дисперсійну систему, що складається з дисперсної фази (гідратованих білкових міцел) жирових частинок та дисперсійного середовища (розчину білків та низькомолекулярних білків). Це дає змогу спрогнозувати структурно-механічні властивості харчової композиції.

Таблиця 5

**Вміст ПНЖК у розроблених рибо-рослинних композиціях**

Вміст ПНЖК	Контрольний зразок	МК 1	МК 2	МК3	МК 4
Лінолева кислота $\omega$ -6, г	2,90	11,81	11,85	11,90	11,92
Ліноленова кислота $\omega$ -3, г	0,27	2,16	2,18	2,19	2,20
Співвідношення $\omega$ -6 : $\omega$ -3	10,7 : 1	5,47 : 1	5,45:1	5,43:1	5,41 : 1

З метою дослідження органолептичних показників було використано метод профілю флейвору – враховує всі дескриптори, які формують загальне враження від страви. Це комбінований показник для порівняння смакових властивостей страви, ароматичного сприйняття та загального вигляду. Для порівняння досліджуваних модельних композицій було визначено «ідеальний» органолептичний профіль (еталон). Органолептичні показники МК 1 та МК2 наближаються до показників контрольного зразку, тому в дослідженні розглядали МК 3 та МК 4.



Рис. 1. Профілограма флейвору рибо-рослинних модельних композицій

Найвищі показники органолептичної оцінки має модельна композиція № 3 в якій хліб пшеничний повністю замінено на пюре топінамбура, а в якості паніровки використано вівсяні висівки, для аромату – екстрагон. Модельна композиція № 4 має гірші показники за консистенцією страви. Напівфабрикат злиплий, деформований, погано тримає форму та має ламані краї. Виражений рибний запах з легким ароматом топінамбура.

З огляду на профілограму флейвору для подальшого дослідження обрано модельну композицію № 3 (МК 3) – вироби круглої форми запаніровані у пшеничних висівках, добре пропечені. Страва має пікантний пряний аромат за рахунок використання листя екстрагону, який добре поєднується з рибною сировиною. Напівфабрикат виготовлений за модельною композицією 3 має гарні реологічні та органолептичні показники, збагачений біологічно-активними речовинами.

На основі проведених досліджень розроблено технологію і визначено технологічні режими приготування фішболів з використанням мінтаю та рослинної сировини (листя естрагону та топінамбуру). В технології приготування вилучено процес обсмажування фішболів перед запіканням, повністю замінено хліб на рослину сировину, а в якості паніровки використано пшеничні висівки.

На основі узагальнених показників розраховано комплексний показник якості рибних фішболів з додаванням рослинної сировини. Комплексний показник якості розраховано за даними:

- хімічного складу (показник А): А1-вміст білків, г А2-вміст жирів, А3 – кальцій, А4 – харчові волокна, А5 – залізо;
- енергетичної цінності (показник В1);
- органолептичних показників(показник С): С1 –зовнішній вигляд, С2 – смак, С3 – запах, С4 – колір, С5 – консистенція;
- збалансованість амінокислотного складу (показник D): D1 – біологічна цінність.

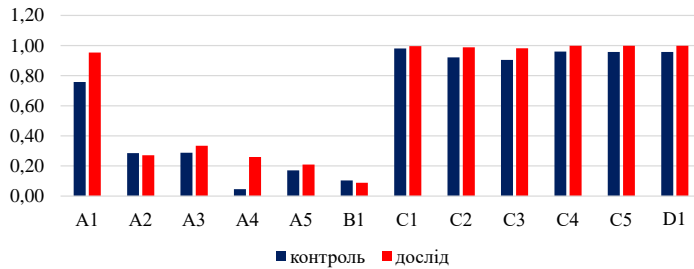


Рис. 2. Комплексний показник якості рибних фішболів з рослинною сировиною

За даними розрахунків комплексний показник якості рибних фішболів з рослинною сировиною становить 0,73, а контрольного зразку – 0,66.

**Висновки.** На основі проведених теоретичних та практичних досліджень розроблено технологію приготування рибних фішболів з використанням рослинної сировини (топінамбура, пшеничних висівків).

В удосконалених січених напівфабрикатах відмічали покращення органолептичних властивостей, соковитості, збільшення кількості білків на 25,6%, харчових волокон в 5,5 разів. Покращується мінеральний та вітамінний склад. Біологічна цінність розроблених рибних січених страв з додаванням рослинної сировини становить 78%, а в контрольному зразку – 56,1%. Комплексний показник якості рибних фішболів з рослинною сировиною становить 0,73, а контрольного зразку – 0,66. Отримані позитивні результати дозволяють рекомендувати розроблену рецептуру для реалізації у закладах ресторанного господарства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мельников К.О., Колісниченко Т.О., Мацук Ю.А., Листопад Т.С. Удосконалення технології страв із риби з метою підвищення їх харчової цінності. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2017. № 1(83). С. 16-23.
2. Свідло К.В. Технологія рибних січених виробів з добавками геродістичного профілю. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2011. Вип. 27. С. 410-417.
3. Збірник рецептур страв української кухні. *Техніка*. 1992. С. 256.
4. Locavore: meaning and movement. The Fork. URL: <https://www.theforkmanager.com/blog/locavore-movement> (дата звернення: 05.11.2024).
5. Гередчук А.М., Пасічний В.М., Мацук Ю.А., Костенко В.С. Розробка технології рибних січених напівфабрикатів з рослинними збагачувачами. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*. 2023. № 2. С. 31-35.

### REFERENCES:

1. K.O. Melnykov, T.O. Kolisnychenko, Yu.A. Matsuk & T.S. Lystopad. (2017). Udoskonalennia tekhnolohii strav iz ryby z metoiu pidvyshchennia yikh kharchovoi tsinnosti. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*, 1(83), 16-23.
2. Svidlo K.V. (2011). Tekhnolohiia rybnykh sichenykh vyrobiv z dobavkamy herodiietychnoho profilu. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, (Vyp. 27.), 410-417.
3. Zbirnyk retseptur strav ukrainskoi kukhni. (1992). *Tekhnika*.
4. Locavore: meaning and movement. (б. д.). *The Fork*. <https://www.theforkmanager.com/blog/locavore-movement>
5. Heredchuk A.M., Pasichnyi V.M., Matsuk Yu.A. & Kostenko V.S. (2023). Rozrobka tekhnolohii rybnykh sichenykh napivfabrykativ z roslynnymy zbahachuvachamy. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. Seriiia «Tekhnichni nauky»*, (2), 31-35.

УДК 664.644:664.83

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.28>

## ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА НА ЗАКВАСЦІ З КЛІТКОВИНОЮ КАРТОПЛІ

**Федорова Д. В.** – доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри ресторанних і крафтових технологій  
Державного торговельно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-9443-2941

**Ланська В. Д.** – аспірант кафедри ресторанних і крафтових технологій  
Державного торговельно-економічного університету  
ORCID ID: 0009-0002-9119-7461

У статті стисло окреслено необхідність удосконалення технологій та розширення асортименту безглютенових хлібобулочних виробів. Встановлено, що одним із пріоритетних напрямів розвитку технологій є розроблення інноваційних технологій хліба вітчизняного виробництва в категорії «чисті етикетки» без штучних харчових добавок. Ці задачі можуть бути ефективно вирішені шляхом використання заквасок зі стартовими культурами мікроорганізмів та борошняної сировини підвищеної харчової цінності на основі зернових культур місцевого виробництва. Розглянуто питання розроблення технології цих виробів з використанням рисової закваски на стартовій культурі LVI Livendo™ французької компанії «Lesaffre», борошна соргового та клітковини картоплі як натурального структуроутворювача і джерела харчових волокон. Запропоновано технологічну модель процесу отримання сорго-рисового хліба на заквасці зі стартовою культурою LVI, який може використовуватися у раціонах харчування осіб із глютенною «непереносимістю». Наведено результати дослідження кінетики випікання сорго-рисового хліба на заквасці зі стартовою культурою LVI та клітковиною картоплі. Визначено раціональні параметри випікання безглютенового сорго-рисового хліба на заквасці: температура пекарної камери 190–200 °C, тривалість випікання 25–30 хв. Досліджено органолептичні показники сорго-рисового хліба на заквасці та розроблено технологічну схему його виробництва. Одержані вироби характеризуються привабливим зовнішнім виглядом, із середньо-пористим м'якушем світло-коричневого кольору, з достатньою еластичною текстурою та яскраво вираженим кисло-спиртовим присмаком та хлібним ароматом. Впровадження розробок у виробництво дозволить отримати доступний вітчизняний безглютеновий хліб в категорії «чиста етикетка» з покращеними споживними властивостями.

**Ключові слова:** целиакія, глютен, безглютеновий хліб, соргове, рисове борошно, закваска, показники якості, харчові волокна, клітковина картоплі.

### **Fedorova D. V., Lanska V. D. Technology of gluten-free sourdough bread with potato fibre**

The article briefly outlines the necessity of improving technologies and expanding the range of gluten-free bakery products. It has been established that a priority direction in technology development involves the creation of innovative technologies for domestically produced bread within the 'clean label' category, devoid of artificial food additives. These objectives can be effectively addressed by utilizing sourdough starter cultures of microorganisms and flour raw materials with enhanced nutritional value based on locally produced cereals. The article discusses the development of a technology for these products using a rice starter culture, LVI Livendo™ (produced by the French company Lesaffre), in combination with sorghum flour and potato fiber as a natural structure-forming agent and source of dietary fiber. A technological model for producing sorghum-rice bread using the LVI sourdough starter culture, suitable for individuals with gluten intolerance, is proposed. The study also presents the results of kinetic analysis for baking sorghum-rice bread incorporating the LVI sourdough starter culture and potato fiber. Rational baking parameters for gluten-free sorghum-rice bread with sourdough starter have been determined: baking chamber temperature 190–200 °C, baking time 25–30 min. The organoleptic properties of the sorghum-rice sourdough bread have been evaluated, and a technological scheme for its production has been developed. The developed products have an attractive appearance, medium-porous crumb of light brown colour, with a fairly elastic texture and a pronounced acidic-alcoholic taste and bread aroma. The introduction of the developments

*into production will allow us to produce affordable domestic gluten-free bread in the clean label category with improved consumer properties.*

**Key words:** *celiac disease, gluten, gluten-free bread, sorghum flour, rice flour, sourdough, quality indicators, dietary fibre, potato fibre.*

**Вступ.** Розробка технологій безглютенового хліба є актуальною задачею сучасної харчової науки, враховуючи зростання попиту на продукти спеціального дієтичного призначення. За різними оцінками, близько 10% населення світу страждає на чутливість до глютену, а 1% має целиакію – захворювання, що супроводжується абсолютною непереносимістю білків пшениці, жита та ячменю [1, 2]. Єдиним ефективним методом терапії целиакиї є суворе дотримання безглютенової дієти.

Зростання попиту на продукцію спеціального дієтичного призначення в Україні актуалізує потребу у високоякісному безглютеновому хлібі місцевого виробництва. Наразі ринок переважно заповнений дороговартісною імпортною продукцією, що робить такі вироби малодоступними для широких верств населення. Враховуючи значущість хліба як основного продукту в раціоні українців, розробка конкурентоспроможних вітчизняних технологій безглютенових хлібобулочних виробів є не лише актуальним, а й соціально важливим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед традиційних продуктів, виготовлених із зернової сировини, найбільш складним для адаптації до безглютенових умов є хліб. Споживачі очікують, що такі вироби матимуть звичні органолептичні властивості, включно зі смаком, ароматом і текстурою, притаманними пшеничному хлібу. Проте сучасний асортимент безглютенового хліба переважно базується на використанні крохмалів (рисового, кукурудзяного, картопляного, тапіокового тощо), які характеризуються низькою харчовою цінністю та високим глікемічним індексом [3, 4, 5]. Крохмалевмісна сировина, з якої складається більшість рецептур безглютенового хліба характеризується низькими хлібопекарськими та споживчими властивостями і не забезпечує утворення тіста з необхідними реологічними властивостями, що дозволяють отримати вироби високої якості з достатньо розпушеною м'якушкою [5]. Для забезпечення відповідних структурно-механічних властивостей м'якушки хліба використовують харчові добавки, нерідко хімічного походження. Регламентована технологія виготовлення безглютенового хліба, на відміну від традиційного з пшеничного і житнього борошна, передбачає лише вистоювання тістових заготовок і відсутність процесу бродіння тіста, тому вироби характеризуються прісним смаком і слабвираженим ароматом. Традиційні рецептури, засновані на крохмальних компонентах, не здатні забезпечити необхідні споживчі якості, що наближують вироби до пшеничного хліба [4, 5]. Всі наведені фактори стимулюють пошук напрямків вдосконалення технології безглютенового хліба з метою усунення виявлених недоліків: невираженого смаку та аромату, блідої скоринки, сухої консистенції м'якушки, низької кислотності тіста та швидкої ретроградації крохмалю і, як наслідок, коротких термінів зберігання. Одним із напрямів покращання якості безглютенового хліба може бути використання заквасок. Нині у хлібопекарській промисловості для приготування традиційного безглютенового хліба використання заквасок не регламентовано та не використовується, тому актуальність таких розробок не викликає сумнівів [6].

Використання заквасок у технології безглютенового хліба є одним із найперспективніших напрямів, оскільки вони покращують органолептичні властивості, знижують глікемічний індекс та подовжують терміни зберігання хліба [7]. Крім того, включення заквасок із молочнокислими бактеріями дозволяє покращити

текстуру м'якушки та збільшити пористість виробів, що забезпечує більш високу споживчу цінність [6, 7].

У наших попередніх дослідженнях [8] було обґрунтовано доцільність використання закваски на основі стартової культури LV1 Livendo™ у виробництві безглютенового хліба. Використання рисової закваски в кількості 40% до маси борошна дозволило отримати хліб із рівномірною пористістю, помірно вологою м'якушкою та приємними смаковими характеристиками. Однак залишаються проблеми, пов'язані зі слабковраженими смаком і ароматом, неприродним кольором скоринки та підвищеною крихкістю безглютенових виробів.

Одним із перспективних рішень в розвитку технологій безглютенового хліба є використання сировини підвищеної поживної цінності, зокрема суцільнозернових видів борошна. Борошно із суцільного зерна сорго має високу поживну цінність, зокрема характеризується високим вмістом харчових волокон, мінералів та вітамінів [9]. Крім того, сорго є посухостійкою культурою, вирощування якої є перспективним для України з урахуванням кліматичних змін. Наші попередні дослідження [10] показали, що поєднання рисового та соргового борошна у технології безглютенового хліба дозволяє нівелювати гіркий післясмак, характерний для соргового борошна, та покращувати органолептичні властивості. Нами було експериментально підтверджено, що додавання 40% рисової закваски до борошняної суміші, приготовленої зі стартовою культурою LV1, та 3% клітковини картоплі до маси борошняної суміші в тісті як натурального структуроутворювача, суттєво покращує реологічні й фізико-хімічні властивості безглютенового тіста з борошна сорго. Встановлено, що додавання рисової закваски інтенсифікує кислотонакопичення, підвищує газотримувальну здатність, питомий об'єм і пористість соргового тіста та забезпечує формування необхідних реологічних і органолептичних характеристик [10]. Гіркуватий присмак хліба, притаманний сорговому борошну, вдалось нівелювати при додаванні 30% та більше закваски рисової [10]. Ці результати створюють передумови для подальших досліджень, спрямованих на обґрунтування рецептури та параметрів технологічного процесу виробництва безглютенового хліба із соргового борошна на рисовій заквасці, що відповідає вимогам споживачів щодо якості, смакових характеристик та поживної цінності.

Розробка технології безглютенового хліба, адаптованої до місцевих умов, та її впровадження на український ринок відповідає державним пріоритетам щодо підвищення продовольчої безпеки, ефективного використання ресурсів і розвитку високоякісної продукції на основі локальної зернової сировини, зокрема сорго. Реалізація цього завдання відкриває можливості для розширення асортименту доступного безглютенового хліба з покращеними характеристиками якості, орієнтованого на потреби осіб із ферментопатіями, харчовими алергіями та хронічними захворюваннями, пов'язаними з непереносимістю глютену, а також сприяє більш раціональному використанню харчового потенціалу місцевих зернових культур.

Узагальнення інформації доробок науковців за цим напрямом, а також власні теоретичні й експериментальні дослідження стали передумовою для створення технології нових видів хліба безглютенового на основі рисової закваски зі стартовою культурою LV-1, борошна сорго та клітковини картоплі, використання яких дасть змогу розширити асортимент хлібобулочної продукції спеціального дієтичного призначення, зокрема для осіб із несприйняттям глютену.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є обґрунтування та розроблення технології безглютенового хліба на основі борошна сорго з використанням рисової закваски зі стартовою культурою LV-1 та дослідження якості готової продукції.



Методи дослідження. Під час проведення лабораторних досліджень та виробничих випробувань використовувалася наступна сировина: борошно рисове ТМ «Ms. Tally» (ТОВ «Каскад», Україна) згідно з ТУ У 10.6-31680679-003:2013; борошно соргове ТМ «Ms. Tally» (ТОВ «Каскад», Україна) згідно з ТУ У 10.6-31680679-003:2013 [11]; стартова культура LVB-1 Livendo™ («Lesaffre», Франція) за сертифікатом іонізації 100132/01:2022 [12]; картопляна клітковина «Potex» (Швеція); дріжджі хлібопекарські пресовані Криворізького дріжджового заводу «Рекорд» за ДСТУ 4812:2007; сіль кухонна згідно з ДСТУ 3583:2015; олія соняшникова рафінована відповідно до вимог ДСТУ 4492:2005; вода питна, яка відповідає вимогам ДСТУ 7525:2014. Предметами дослідження також є модельні системи тіста і готовий хліб на основі борошна сорго з рисовою закваскою зі стартовою культурою LV1, випечені за різних температур термооброблення 190–210°C, що виготовлені за розробленою модельною рецептурою (табл. 1).

Таблиця 1

**Модельна рецептура безглютенового тіста із борошна сорго з рисовою закваскою, % до маси борошняної суміші**

Найменування сировини	Дослід
Рисове борошно	19.0
Стартова культура LV1	0.08
Цукор-пісок	1.92
Вода питна	19.0
Всього маса н/ф закваски	40.0
Соргове борошно	24.0
Цукор-пісок	0.90
Клітковина картоплі	1.30
Вода питна	30.30
Дріжджі пресовані	0.80
Сіль харчова	0.80
Олія рослина соняшникова	1.90
Всього маса тіста	100.0

Для приготування закваски стартову культуру LV-1 в кількості 0.4% до маси борошна в заквасці змішували з частиною води температурою 35–38°C та перемішували протягом 1–2 хв. до утворення однорідної суспензії. В діжу планетарного міксера вносили борошно рисове, 10% цукру до маси борошна та суспензію стартової культури у воді, решту води температурою 35–38°C; змішували на першій швидкості протягом 3–5 хв. Тривалість бродіння рисової закваски 1-го ступеня – 24 год. при температурі 24–25°C. По закінченню процесу бродіння закваску із вологістю 56% та кислотністю 10°N використовували для замішування тіста [6].

Тісто готували за традиційною технологією хліба пшеничного безопарним прискореним способом [13]. У тістомісильній машині змішували закваску рисову, борошно сорго, клітковину картоплі в кількості 3% до маси борошна і воду температурою 20°C, все перемішували в планетарному міксері Kenwood протягом 4–5 хв з частотою обертання місильного органу 1 с<sup>-1</sup>. Тістові заготовки формували вручну та укладали у форми для випікання. Напівфабрикати піддавали бродінню в формах у вистоювальній шафі марки UNOX протягом 30–50 хв за відносної вологості повітря 75–80% та температури 30...32°C [10]. Для визначення

раціональних параметрів термооброблення здійснювали пробні викання тістових заготовок в пароконвекційній печі UNOX при температурах 190...210°C.

Вологість напівфабрикатів та готового хліба визначали експрес-методом висушування на приладі Чижової та прискореним методом в печі СЕШ-2М за загальновідомими методиками [14]. Органолептичні показники (зовнішній вигляд, колір і стан скоринки, стан м'якушки, смак, запах) оцінювали за ДСТУ-П 8536:2015. Контролем обрано хліб безглютеновий на рисовому борошні [13].

**Виклад основного матеріалу.** На підставі серії попередніх експериментів [6, 10] та з урахуванням відомостей, що містяться в науково-технічній літературі, розроблено технологічну схему приготування безглютенового хліба із рисовою закваскою зі стартовою культурою LV1 на основі суцільнозернового борошна сорго (рис. 1). У розробленій технології передбачено використання рецептурних компонентів: 40% закваски на основі борошна рисового з використанням 0.4% стартової культури LB1 і 10% цукру до маси борошна у заквасці, борошна із суцільного зерна сорго, 3% клітковини картоплі до маси борошна в тісті, дріжджів, солі, олії соняшникової.

Розробка технології безглютенового соргово-рисового хліба на основі рисової закваски потребує детального обґрунтування всіх етапів технологічного процесу. Важливо враховувати кожну операцію, її взаємодію з попередньою та вплив на кінцевий продукт. Відповідно до теорії системного аналізу, технологію хліба можна представити у вигляді складної системи, складовими якої є декілька підсистем, що взаємодіють одна з одною. Кінцевим етапом взаємодії цих підсистем є утворення нового готового продукту.

Функціонування системи в цілому забезпечується функціонуванням окремих її компонентів згідно поставленої мети. Параметри технологічної системи виробництва виробництва безглютенового хліба на заквасці з клітковиною картоплі (КК) в межах виділених підсистем наведені в табл. 2.

Як свідчать отримані дані, результатом послідовного переходу підсистеми С, в підсистеми  $B_3$ ,  $B_2$ ,  $B_1$  є формування підсистеми А з отриманням безглютенового соргово-рисового та рисового хліба з рисовою закваскою і клітковиною картоплі.

Підсистема С «*Підготовка рецептурних компонентів*». В рамках підсистеми С здійснюється просіювання сухих рецептурних компонентів ( $d = (2...3) \cdot 10^{-3}$  м;  $d = (1,4...1,5) \cdot 10^{-3}$  м) з метою видалення сторонніх домішок та руйнування агломерованих часток (борошно соргове та рисове, картопляна клітковина). Рідкі компоненти (олія соняшникова) проціджуються з розміром сит  $d = (0,2...0,3) \cdot 10^{-3}$  м.

Підсистема  $B_3$  «*Підготовка напівфабрикатів*». Готують дріжджову суспензію за співвідношення дріжджі: вода – 1:3. Її фільтрують та дозують на виробництво. Розчин солі готують 26 %- ної концентрації (густина розчину 1,2 г/см<sup>3</sup>). Розчин цукру готується концентрацією 45 % (густина розчину 1,2 г/см<sup>3</sup>). Розчини фільтруються та направляються на виробництво.

Підсистема  $B_2$  «*Утворення тіста*». В рамках підсистеми здійснюється з'єднання рецептурних інгредієнтів та замішування тіста ( $\tau = 3...5$  хв,  $t = 20...22^\circ\text{C}$ ).

Підсистема  $B_1$  «*Виробництво безглютенового хліба на заквасці з КК*». Завершальним етапом виробництва безглютенового хліба з формуванням органолептичних, фізико-хімічних та реологічних показників, що обумовлюють якість готових виробів, є термооброблення. Головною метою цього процесу є застосування оптимальних параметрів випікання (терміну та температури оточуючого середовища), що сприяють наданню виробам високих показників якості при найменших витратах енергоресурсів.

Таблиця 2

**Параметри технологічної системи виробництва безглютенового хліба на заквасці з КК**

Під-системи	Мета функціонування	Технологічні операції	Параметри, що контролюються
C	Підготовка рецептурних компонентів	1 – просіювання рисового та соргового борошна	Сита $d = (2...3) \cdot 10^{-3}$ м
		2 – дозування борошна	-
		3 – дозування цукру для приготування цукрового розчину	-
		4 – дозування солі для приготування сольового розчину	-
		5 – проціджування олії соняшникової	Сита $d = (0,2...0,3) \cdot 10^{-3}$ м
		6 – просіювання КК	Сита $d = (1,4...1,5) \cdot 10^{-3}$ м
		7 – дозування КК	-
		8 – звільнення стартової культури від спожиткової тари та огляд	-
		9 – дозування стартової культури для приготування закваски	-
		10 – звільнення дріжджів від спожиткової тари та візуальний огляд	-
		11 – дозування дріжджів	-
B <sub>3</sub>	Приготування напівфабрикатів	1 – приготування закваски з рисового борошна на стартовій культурі ЛВ-1	W=56±0,5 %; K=10±0,5 град; $\tau = 24...26$ год; t = 30...32°C;
		2 – приготування дріжджової суспензії	Дріжджі : вода=1:3
		3 – приготування цукрового розчину	C=45 %; $\delta = 1,17$ г/см <sup>3</sup>
		4 – приготування сольового розчину	C = 26 %; $\delta = 1,2$ г/см <sup>3</sup>
		5 – проціджування розчинів	Сита $d = (0,2...0,3) \cdot 10^{-3}$ м
B <sub>2</sub>	Утворення тіста	1 – з'єднання рецептурних компонентів	-
		2 – замішування тіста	$\tau = 3...5$ хв, t = 20...22°C
B <sub>1</sub>	Виробництво безглютенового хліба	1 – Формування 2 – Випікання	поділ 420±5 г потребує обґрунтування
A	Утворення готового до споживання продукту	1 – охолодження	t = 20...24 °C
		2 – пакування	-
		1 – зберігання	Потребує обґрунтування

Перетворення тістової заготовки у готовий виріб зумовлено теплофізичними, колоїдними, біохімічними процесами, що відбуваються під час випікання, а також тепломасообмінними процесами, які супроводжуються втратою вологи. В основі всіх процесів лежить теплообмін у тістовій заготовці під час прогрівання її в пекарській камері. Відомо, що характер та швидкість процесу нагрівання продукту

обумовлюють його теплофізичні властивості. Чим більше вологи у зразку, тим швидкість прогрівання менша, бо система накопичує енергію. Для обґрунтування раціональних параметрів термооброблення безглютенового хліба на заквасці з КК було досліджено органолептичні показники та кінетику зміни температури центральних шарів м'якушки випечених виробів.

Традиційно хліб рекомендується випікати за  $t = 180...210^{\circ}\text{C}$ , тому проводили дослідження при цих температурах [13]. Тривалість випікання залежить від ваги та рецептурного складу хліба і коливається в межах 20...40 хв.

Дослідження кінетики зміни температури центральних шарів м'якушки від тривалості випікання проводили за наступних умов:

- температура повітря пекарної камери –  $210^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $190^{\circ}\text{C}$  та  $180^{\circ}\text{C}$ .
- вага тістової заготовки –  $420 \pm 5$  г.

Форми з тістом ставили у пекарну камеру, яку попередньо нагрівали до заданої температури та протягом випікання підтримували. Під час випікання кінетику зміни температури центральних шарів м'якушки досліджуваних зразків визначали за допомогою автоматичного потенціометра. Як датчики температур застосовували хромель-капелеві термопари, які являють собою тонкий, гнучкий стрижень, що легко вводиться в тістову заготовку на різній висоті. Закінчення процесу випікання визначали за температурою центральних шарів м'якушки, яка у випечених хлібних виробих становить  $95...97^{\circ}\text{C}$  (табл. 3).

Таблиця 3

**Кінетика зміни температури у центральних шарах м'якушки безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з КК**

Тривалість випікання, хв	Температура у центральних шарах м'якушки, $^{\circ}\text{C}$			
	$t_{\text{випік}} = 210^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{випік}} = 200^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{випік}} = 190^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{випік}} = 180^{\circ}\text{C}$
15	90.1	88.1	85.5	80.3
20	93.4	92.2	89.2	86.2
25	96.5	94.0	93.4	90.4
30	98.1	96.1	95.1	94.1
35	99.6	98.3	97.8	96.0
40	99.8	99.3	99.5	98.6

При температурі випікання  $200^{\circ}\text{C}$  за тривалості термооброблення 30 хв. відповідно, температура у центральних шарах м'якушки розробленого тіста досягає  $96.1^{\circ}\text{C}$ , що говорить про повну готовність виробів. Отримані безглютенові вироби на заквасці з КК мають гарні споживчі властивості (табл. 4) – форма виробів цеглиною; поверхня трохи випукла, світло-коричневого та коричневого кольору. При температурі випікання  $190^{\circ}\text{C}$  за тривалості термооброблення 30 хв. відповідно, температура у центральних шарах м'якушки розроблених виробів досягає  $95.1^{\circ}\text{C}$ , що говорить про готовність соргово-рисового хліба. Отримані безглютенові хлібні вироби на заквасці з КК мають задовільні споживчі властивості (табл. 4) – форма виробів цеглиною; поверхня помірно-опукла, світло-коричневого кольору, з наявністю незначних тріщин.

Таблиця 4

**Органолептичні характеристики безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з КК, випечені за різних температур**

Органолептичні характеристики випечених зразків хліба	Зразки хліба, випечені за наступних параметрів T,°C; τ, хв			
	t <sub>випік</sub> = 210°C; τ=25 хв	t <sub>випік</sub> = 200°C; τ=30 хв	t <sub>випік</sub> = 190°C; τ=30 хв	t <sub>випік</sub> = 180°C; τ=35 хв
Стан м'якушки, структура пористості, розжовуваність	Еластична м'якушка, пористість середня, тонкостінна, розвинена, рівномірна, розжовується добре	Еластична м'якушка, пористість середня, тонкостінна, розвинена, рівномірна, розжовується добре	Еластична м'якушка, пористість середня, тонкостінна, розвинена, рівномірна, розжовується добре	Еластична, м'якушка, пористість середня, товстостінна, менш розвинена, рівномірна, розжовується добре
Смак та запах	Виражений кислотно-спиртовий присмак та хлібний аромат, гіркуватий присмак скоринки	Яскраво виражений кислотно-спиртовий присмак та хлібний аромат	Яскраво виражений кислотно-спиртовий присмак та хлібний аромат	Слабко виражений хлібний аромат
Правильність форми, зовнішній вигляд скоринки	Помітно опукла верхня скоринка, темно-коричневого кольору, поверхня із незначними тріщинами	Помітно опукла верхня скоринка коричневого кольору, поверхня із незначними тріщинами	Помітно опукла верхня скоринка, світло-коричневого кольору, поверхня із незначними тріщинами	Плоска поверхня верхньої скоринки, світло-коричневого кольору, поверхня з вираженими тріщинами

При термообробленні за температури 180 °C та 210 °C органолептичні характеристики зразків погіршувались, вироби набували нехарактерного кольору, а їх смакові властивості були незадовільні. Таким чином, за результатами проведених досліджень визначено раціональні параметри випікання безглютенового хліба на заквасці з КК: температура пекарної камери 190-200 °C, тривалість випікання 25–30 хв.

Експериментально встановлено, що безглютенові вироби на заквасці з КК мають більш насичений колір порівняно із контролем (рис. 1). Найбільш виражений колір – кремово-коричневий має хліб соргово-рисовий на рисовій заквасці з КК. Слід відмітити, що розроблені вироби належать до групи продукції «чисті етикетки», яка характеризується відсутністю харчових добавок у складі.

Підсистема А «Утворення готового до споживання продукту». Готовий хліб після випікання підлягає охолодженню до температури 20...22°C.



а) безглютеновий хліб рисовий (контроль)	б) безглютеновий хліб соргово-рисовий на заквасці з КК, випечений при температурі 190°C	в) безглютеновий ХБВ соргово-рисовий на заквасці з КК випечений при температурі 200°C
--	---	---

*Рис. 1. Цифрові зображення соргово-рисового хліба на заквасці з КК*

На підставі серії попередніх експериментів та з урахуванням відомостей, що містяться в науково-технічній літературі, було розроблено технологічну схему одержання безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з КК. У розробленій технології передбачено використання борошна зерна сорго, борошна рису, закваски на основі борошна рису зі стартовою культурою LV1, клітковини картоплі, цукру, олії соняшникової, солі, дріжджів, яка відрізняється тим, що в якості борошна використовується суміш борошна із суцільного зерна сорго та рису, а в якості натурального структуроутворювача – клітковину картоплі. Технологічна схема одержання безглютенових виробів на заквасці з КК подана на рис. 2.

Спосіб одержання безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з КК (рис. 2) здійснюється наступним чином: для виробництва соргово-рисового хліба використовується наступна сировина: рисове борошно, соргове борошно, клітковина картоплі, стартова культура LV1, вода питна, цукор білий кристалічний, сіль кухонна харчова, дріжджі пресовані, олія соняшникова.

При приготуванні тіста у дві стадії підготовлену густу рисову закваску ( $W=56\pm 0,5\%$ ) змішують із дріжджовою суспензією, сольовим та цукровим розчинами, потім засипають суміш соргового (рисового) борошна з картопляною клітковиною та вносять воду з олією, продовжують заміс 3 хв на першій швидкості та 4–5 хв на другій швидкості до отримання однорідної маси. Тісто ділять на тістові заготовки вагою 420 г відливальною машиною в металеві форми, змащені олією і направляють на вистоювання в шафу. Тривалість вистоювання становить 45–50 хв при температурі 36–37°C з вологістю 70–75%. Випікання хліба відбувається в ротаційній печі і становить 25–30 хв при температурі пекарної камери 190...200°C. Потім готовий хліб охолоджують до температури 22±2°C, пакують та

реалізують. Одержані вироби характеризуються привабливим зовнішнім виглядом, випуклою поверхнею з наявністю незначних тріщин і розривів, які не змінюють товарного виду виробу, середньо пористим м'якушем світло-коричневого кольору, з достатньо еластичною текстурою та яскраво вираженим кислотно-спиртовим присмаком та хлібним ароматом.

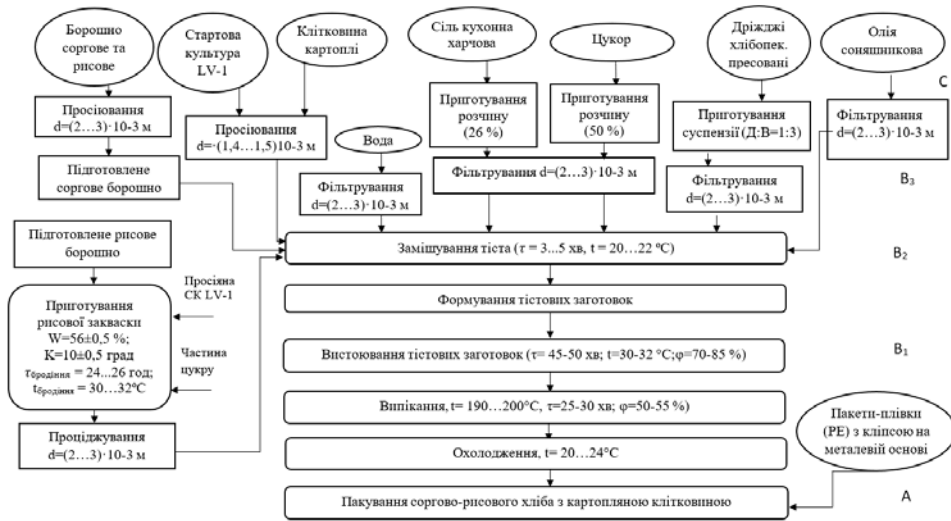


Рис. 2. Технологічна схема одержання безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з КК:  
A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C – підсистеми

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** За результатами проведених досліджень обґрунтовано параметри технології безглютенового соргово-рисового хліба на заквасці з клітковиною картоплі. Впровадження розробок у виробництво дозволить отримати доступний вітчизняний безглютеновий хліб в категорії «чиста етикетка» з покращеними споживними властивостями. Наступним етапом роботи буде дослідження органолептичних, фізико-хімічних, структурно-механічних та показників безпечності розроблених безглютенових хлібобулочних виробів, обґрунтування термінів їх зберігання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Newberry C. (2019). The gluten-free diet: use in digestive disease management. *Current Treatment Options in Gastroenterology*, vol. 17 (4), pp. 554-563. <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00255-0>.
- Kulshrestha, R.; Deora, N.; Deswal, A.; Dwivedi, M. (2022). Overview of the Gluten-Free Market. In: Singh Challenges and Potential Solutions in Gluten Free Product Development. *Food Engineering Series*. Springer, Cham, pp. 79-93. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_9).
- Shevchenko A, Drobot V, Sorochnyńska Y. (2021). Gluten-free bakery products of high nutritional value. *Modern engineering and innovative technologies*. № 15, pp. 112-118. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/33670>
- Федорова Д. В., Слащева А. В., Ланська В. Д. (2023). Технологічні аспекти виробництва безглютенового хліба на заквасках. *Sustainable food chain and safety*

through science, knowledge and business: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», pp. 247-289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12>

5. Дробот В.І., Грищенко А.М. (2013). Технологічні аспекти використання борошна круп'яних культур у технології безглютенового хліба. Обладнання та технології харчових виробництв. № 30. 2013. С. 52-58.

6. Федорова Д., Ланська В. (2023). Закваски на рисовому борошні для безглютенового хліба. Товари і ринки. № 2 (46). С. 108-116. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(46\)10](https://doi.org/10.31617/2.2023(46)10).

7. Bender; D., Schönlechner, R. (2020). Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*. Vol. 91. 102904. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102904>.

8. Ланська В. Д., Федорова Д. В. (2023). Обґрунтування доцільності використання стартової закваски ЛВ-1 в технології безглютенового рисового хліба. Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 2 (47). С. 27-39. <https://oblad.donnuet.edu.ua/index.php/tehnolog/article/view/219/209>.

9. Дробот В.І., Приходько Ю.С., Бережна Г.О. (2019). Борошно сорго в технології безглютенового хліба. Наукові праці НУХТ. Том 25, No 1. С. 208-214.

10. Федорова Д., Ланська В. (2024). Якість безглютенового хліба на заквасці зі стартовою культурою LV-1. Товари і ринки. № 3 (51). С. 104-120. DOI: 10.31617/2.2024(51)08.

11. ТОВ «Каскад». Борошно безглютенове. Режим доступу: <https://kaskad.dn.ua/>

12. Lesaffre. Стартова культура LV1 Livendo™. URL: <https://lesaffre.ua/products/startova-kultura-lv1-livendo/>

13. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. Київ: Руслана, 1998. 416 с.

14. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Методи визначення фізико-хімічних показників. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 12 с.

#### REFERENCES:

1. Newberry C. (2019). The gluten-free diet: use in digestive disease management. *Current Treatment Options in Gastroenterology*. Vol. 17 (4). P. 554-563. <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00255-0>.

2. Kulshrestha, R.; Deora, N.; Deswal, A.; Dwivedi, M. (2022). Overview of the Gluten-Free Market. In: Singh Challenges and Potential Solutions in Gluten Free Product Development. Food Engineering Series. Springer, Cham, P. 79-93. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_9).

3. Shevchenko A, Drobot V, Sorochnynska Y. (2021). Gluten-free bakery products of high nutritional value. *Modern engineering and innovative technologies*. № 15. P. 112-118. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/33670>

4. Fedorova D. V., Slashcheva A. V., Lanska V. D. (2023). Tekhnolohichni aspekty vyrobnytstva bezhlyutenovoho khliba na zakvaskakh [Technological aspects of gluten-free bread production with sourdough]. Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business: Scientific monograph. Riga, Latvia: Baltija Publishing, pp. 247-289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12>

5. Drobot V. I., Hryshchenko A. M. (2013). Tekhnolohichni aspekty vykorystannia boroshna krup'ianykh kultur u tekhnolohii bezhlyutenovoho khliba [Technological aspects of using cereal flour in gluten-free bread technology]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, vol. 30, pp. 52-58.

6. Fedorova D., Lanska V. (2023). Zakvasky na ry sovomu boroshni dlia bezhlyutenovoho khliba [Rice flour sourdough for gluten-free bread]. *Tovary i rynky*, vol. 2 (46), pp. 108-116. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(46\)10](https://doi.org/10.31617/2.2023(46)10)



7. Bender; D., Schönlechner, R. (2020). Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*. Vol. 91. 102904. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102904>.
  8. Lanska V. D., Fedorova D. V. (2023). Obhruntuvannia dotsilnosti vykorystannia startovoi zakvasky LV-1 v tekhnolohii bezhlyutenovoho rysovoho khliba [Justification for the use of starter culture LV-1 in the technology of gluten-free rice bread]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, vol. 2 (47), pp. 27-39. <https://oblad.donnuet.edu.ua/index.php/tehnolog/article/view/219/209>
  9. Drobot V. I., Prykhodko Yu. S., Berezna H. O. (2019). Boroshno sorho v tekhnolohii bezhlyutenovoho khliba [Sorghum flour in gluten-free bread technology]. *Naukovi pratsi NUKhT*, vol. 25, no. 1, pp. 208-214.
  10. Fedorova D., Lanska V. (2024). Yakist bezhlyutenovoho khliba na zakvastitsi zi startovoiu kulturoiu LV-1 [Quality of gluten-free bread with LV-1 starter culture]. *Tovary i rynky*, vol. 3 (51), pp. 104-120. DOI: 10.31617/2.2024(51)08
  11. TOV «Kaskad». Gluten-free bread. URL: <https://kaskad.dn.ua/>
  12. Starter culture LV1 Livendo™. URL: <https://lesaffre.ua/products/startovakultura-lv1-livendo/>
  13. Drobot V. I. (1998). Dovidnyk z tekhnolohii khlibopekarskoho vyrobnytstva [Handbook of Bread-Baking Production Technology]. Kyiv: Ruslana. (in Ukrainian)
  14. DSTU 7045:2009 (2009). Vyroby khlibobulochni. Metody vyznachennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv [Bakery Products. Methods for Determining Physico-Chemical Indicators]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 12 p. (in Ukrainian).
-

---

# ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

UDC 53:371.214

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.29>

### INDEPENDENT WORK DURING PHYSICS LEARNING USING SOLUTION OF PRACTICAL AND THEORETICAL PROBLEMS

---

**Zavodyannyi V. V.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction, Water and Electrical  
Engineering of the Kherson State Agrarian and Economic University  
ORCID ID: 0000-0002-8224-8215

*The study of physics by students of the Kherson State Agrarian and Economic University is based on listening to a course of lectures, performing laboratory work, practical classes, as well as independent work on mastering the course. Nowadays, a lot of attention is paid to independent work. Independent work gives an opportunity to deepen the knowledge gained during classroom classes, allows you to more fully and deeply master practical skills and theoretical knowledge. Solving theoretical problems contributes to: consolidation of acquired skills and abilities, acquired by students with the participation of the teacher. Development of the ability to independently solve theoretical problems based on the fundamental laws of physics. Understanding the essence of basic physical laws, the possibility of their application in further professional activity. Solving problems contributes to the analysis along with the systematization of knowledge, helps to find out which laws and regularities of physics can be used to solve this problem; Acquiring skills in the practical application of mathematical apparatus to solve this problem; In the process of solving problems, put forward certain assumptions, find the limits of the application of the laws of physics, put forward certain simplifications when building a physical model; Establish parallels of the application of physical laws to real physical processes that exist in the proposed problem; To acquire skills of independent search, use of intuition when searching for a solution to a problem; Also, solving problems requires clear and logical thinking and explaining one's steps in the process of solving problems; Do not focus on theoretical principles, but also develop practical skills of verification with the help of a physical experiment. Solving theoretical problems in physics gives students the opportunity not only to master physical laws, but also to develop important cognitive and practical skills: mathematical, analytical, logical, as well as the ability to think independently and communicate. This is an important step on the way to a future scientist or engineer, where not only knowledge is important, but also the ability to apply it in practice.*

**Key words:** physics, problem solving, practical skills, problem solving algorithm, dynamics of a material point.

**Заводяний В. В. Самостійна робота під час навчання фізики із застосуванням розв'язку практичних та теоретичних задач**

*Вивчення фізики здобувачами освіти Херсонського державного аграрно-економічного університету базується на слуханні курсу лекцій, виконанні лабораторних робіт, практичних занять а також самостійної роботи над засвоєнням курсу. На сьогоднішній*

---

день самостійній роботі надається велика увага. Самостійна робота дає можливість поглиблювати отримані знання під час аудиторних занять, дозволяє більш повно і глибоко оволодіти практичними навичками та теоретичними знаннями. Розв'язування теоретичних задач сприяє: закріпленню набутих умінь та навичок, отриманих студентами з участю викладача. Розвитку вмінь самостійно розв'язувати теоретичні задачі, спираючись на фундаментальні закони фізики. Розумінню суті основних фізичних законів, можливості їх застосування у подальшій професійній діяльності. Розв'язок задач сприяє аналізу разом з систематизацією знань допомагає з'ясувати, які закони та закономірності фізики можуть бути використанні для розв'язку даної проблеми; Набуття навичок практичного застосування математичного апарату для розв'язку даної проблеми; В процесі розв'язку задач висувати певні припущення, знаходити межі застосування законів фізики, висувати певні спрощення при побудові фізичної моделі; Встановлювати паралелі застосування фізичних законів до реальних фізичних процесів, що існують в запропонованій задачі; Набувати навичок самостійного пошуку, використання інтуїції при пошуку розв'язку задачі; Також розв'язання задач вимагає чіткого та логічного мислення і поясненні своїх кроків, в процесі розв'язку задач; Не заціклюватись на теоретичних засадах, але й розвивати практичні навички перевірки за допомогою фізичного експерименту. Розв'язування теоретичних задач з фізики дає можливість здобувачам не лише опанувати фізичні закони, а й розвивати важливі когнітивні та практичні навички: математичні, аналітичні, логічні, а також здатність до самостійного мислення і комунікації. Це важливий крок на шляху до майбутнього науковця чи інженера, де важливі не лише знання, а й уміння застосувати їх на практиці.

**Ключові слова:** фізика, розв'язок задач, практичні навички, алгоритм розв'язку задач, динаміка матеріальної точки.

**Introduction.** The study of physics by students of the Kherson State Agrarian and Economic University is based on listening to a course of lectures, performing laboratory work, practical classes, as well as independent work on mastering the course. Candidates learn the basic concepts of regularities and laws of physics at lectures. Also, application of theoretical knowledge in practice is obtained in laboratory classes. Understanding of theoretical laws is achieved in practical classes. Also, independent work on physics plays an important role in mastering the material.

**Analysis of recent research and publications.** Nowadays, a lot of attention is paid to independent work. Independent work gives an opportunity to deepen the knowledge gained during classroom classes, allows you to more fully and deeply master practical skills and theoretical knowledge. It also plays an educational role: it promotes the development of will, self-discipline, develops the ability to find and learn new material, which in the future leads to the desire of students to improve themselves [1].

Solving practical and theoretical problems is one of the main components of the educational process. When solving problems, students acquire the necessary skills, namely [2]:

- Ability to analyze natural phenomena, processes.
- Compare objects, phenomena and find their interrelationships.
- Independently draw correct conclusions and their justification.

**The purpose of the study.** The purpose of the article can be the analysis and evaluation of the effectiveness of approaches to the study of physics, as well as the creation and application of algorithms for solving typical physics problems.

**Presentation of the main material.** Students learn how to solve practical problems in physics during laboratory work. The solution of theoretical problems is included in the independent work of students during the course of physics. Solving theoretical problems contributes to:

- Consolidation of acquired abilities and skills acquired by students with the participation of the teacher.
- Development of the ability to independently solve theoretical problems based on the fundamental laws of physics.

– Understanding the essence of basic physical laws, the possibility of their application in further professional activity.

In the process of solving problems, the winners acquire a number of important skills and abilities that can be applied in further professional activities. Namely:

– Analysis together with the systematization of knowledge helps to find out which laws and regularities of physics can be used to solve this problem;

– Acquiring the skills of practical application of mathematical apparatus to solve this problem;

– In the process of solving problems, put forward certain assumptions, find the limits of the application of the laws of physics, put forward certain simplifications when building a physical model;

– Establish parallels of the application of physical laws to real physical processes that exist in the proposed problem;

– To acquire skills of independent search, use of intuition when searching for a solution to a problem;

– Also, solving problems requires clear and logical thinking and explaining one's steps in the process of solving problems;

– Do not focus on theoretical principles, but also develop practical skills of verification by means of a physical experiment.

Theoretical problems in physics can be conditionally divided into three groups by complexity:

– Reproductive type – requires the student to determine the fundamental law by which the problem is solved and to find an unknown quantity (a problem in almost one step) that corresponds to a low level of knowledge.

– Algorithmic type – requires the student to solve the problem using an appropriate algorithm or sequence of actions that must be performed for the correct solution, corresponding to the average level.

– Creative – searching type – requires a creative approach from the student to solve non-standard problems, which corresponds to a high level of knowledge. Since the largest number of students have an average level of knowledge, in my opinion, great attention should be paid to the creation and familiarization of students with algorithms for solving typical problems during the physics course. We offer the following algorithm for solving problems on the topic "Dynamics of a material point":

1. Carefully read the condition of the problem. Determine to which section of physics the problem should be assigned.

2. To clearly understand which quantities are known from the condition of the problem, which can be taken from reference books, as well as the quantities that must be found.

3. Make a short note of the condition of the problem.

4. Write down all physical quantities and necessary constants in the SI system.

5. Make a schematic drawing.

6. Choose a reference system (coordinate axes, reference point, time) convenient for solving the problem.

7. Show the direction of the body's speed.

8. Show the direction of acceleration of the body:

a) if the acceleration of the body is zero, it should not be shown in the figure;

b) if the movement of the body is uniformly accelerated, the acceleration is directed in the direction of the speed;

c) if the movement of the body is uniformly decelerated, the acceleration is directed in the direction opposite to the direction of the body's speed.

9. Consider all the forces acting on the body.

10. Show the direction and points of application of forces acting on the body (forces are shown in the figure by vectors): a) take into account that the force of the earth's gravity is directed perpendicularly down to the horizon line, and its magnitude is equal to the product of the mass of the body by the acceleration of free fall  $P = m \cdot g$  ( $g=9,81\text{M/c}^2$ );

b) take into account that the friction force is directed in the opposite direction to the direction of the body's speed, and its value is determined as for the sliding friction force, the product of the friction coefficient by the support reaction force  $F = k \cdot N$ ;

c) take into account that in the case of an inextensible thread (cable), the force of tension of the cable on both sides is the same in magnitude and is directed along the thread (cable).

11. Show the projections of the forces applied to the body on the coordinate axis of the selected coordinate system.

12. Write the force equation in vector form.

13. Write down the force equations in projections on the selected coordinate axes.

14. Determine the number of unknown forces or quantities included in the force projection equations.

15. If the number of unknown values in the force projection equations is greater than two:

a) pay attention to paragraph 10 of part a) and b) and write down the relevant forces as indicated in these paragraphs;

b) to pay attention to the fact that the acceleration of a body during constant motion is related to kinematic quantities (path, time, initial and final velocities of bodies) by the formulas given below:

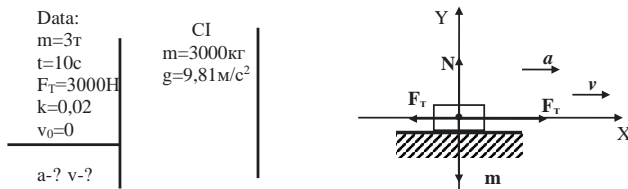
$$S = v_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2}, S = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot a}, a = \frac{v - v_0}{t}.$$

16. Solve the system of equations in projections and find the unknown quantity.

17. Record the answer in the SI system.

18. If in the problem it is necessary to consider the interconnected movement of a system of bodies, then, as a rule, it is necessary to consider the movement of each body separately, obtaining a system of interconnected equations, which must be solved and the desired quantity found. Let's consider an example of the application of the given algorithm for solving the problem of the dynamics of a material point:

Example: A car with a mass of 3t moves from rest along a horizontal path for 10s under the action of a traction force of 3000N. Determine with what acceleration the car moves during acceleration and what speed it reaches during this time? The coefficient of movement resistance is 0.02. Solution:



Consider the forces acting on the car. Gravity and road reaction force act vertically. During acceleration, the force of traction and the force of friction directed against the direction of movement act. The acceleration vector is directed in the same direction as

the velocity and thrust vector, because the motion is uniformly accelerated. Newton's second law in vector form looks like this:

$$\vec{N} + \vec{F}_T + m\vec{g} + \vec{F}_{TP} = m\vec{a} \quad (1)$$

In the projections on the X and Y axes, equation (1) takes the form:

$$\text{OX: } F_T - F_{TP} = ma$$

$$\text{OY: } N - mg = 0 \quad N = mg$$

Using the definition for the force of friction, we write:

$$F_{TP} = k \cdot N = k \cdot mg$$

Therefore:

$$F_T - k \cdot mg = ma$$

Where do we get:

$$a = \frac{F_T - k \cdot mg}{m}$$

The speed of the car at the end of the movement can be found using the speed formula for uniformly accelerated motion:

$$v = v_0 + at$$

Since the initial speed is zero, the expression for the speed at the end of the movement takes the form:

$$v = at$$

By substituting numerical values in the SI system from the condition of the problem, we get:

$$a = \frac{3 \cdot 10^3 - 0,02 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3} = 0,8 \text{ м/с}^2$$

$$v = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ м/с}$$

Respond:  $a=0,8\text{м/с}^2$ ;  $v=8\text{м/с}$ .

**Conclusions and prospects for further research.** Therefore, the study of physics using a complex approach, namely lectures, laboratory and practical classes, and independent work on mastering the material allows you to gain theoretical knowledge and the ability to apply it in practice. Allows to develop practical and critical thinking. It is also possible to suggest further research into interactive learning methods, optimization of independent work on mastering the physics course, and the use of digital technologies.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Смоленко Н.Д., Бойчук І.В. Самостійна робота як форма набуття знань *Удосконалення психолого-педагогічної майстерності науково-педагогічних працівників*: Матеріали науково-практичної конференції 20 квітня 2005 р. 2005. с. 16-20.

2. Марчук Г.П., Біла Т.А. Особливості розв'язання задач з хімії *Удосконалення психолого-педагогічної майстерності науково-педагогічних працівників*: Матеріали науково-практичної конференції 20 квітня 2005р. 2005. с. 12-14.

#### REFERENCES:

1. Smolienko N.D., Boychuk I.V. (2005) Samoctiyna robota yak forma nabytya znany [Independent work as a form of acquiring knowledge]. Materialy naukovo-practichnoy konferencyi (April 20, 2005). p. 16-20 [in Ukrainian].

2. Marchuk G.P., Bila T.A. (2005) Osoblyivosti rozv'yazana zadach z khimiy [Peculiarities of solving problems in chemistry]. Materialy naukovo-practichnoy konferencyi (April 20, 2005). p. 12-14 [in Ukrainian].

УДК 621.382

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.5.30>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕТЕРУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ДЕФЕКТІВ ДИФУЗІЙНИМ ЛЕГУВАННЯМ У ВИРОБНИЦТВІ КРЕМНІЄВИХ ДІОДІВ

**Литвиненко В. М.** – кандидат технічних наук,

доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії  
Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0002-9425-5551

Варикап – це напівпровідниковий діод, дія якого заснована на використанні залежності ємності від зворотної напруги і який призначений для застосування як елемент із електрично керованою ємністю. Як керована ємність використовується бар'єрна (зарядова) ємність  $p-n$  переходу. Дифузійна ємність не підходить для цієї цілі, так як вона проявляється при прямому зміщенні  $p-n$  переходу, коли рівень прямого струму через діод великий, отже, для керування величиною дифузійної ємності необхідно витратити значну потужність джерела живлення. В той же час на зміну величини бар'єрної ємності при зворотному включенні варикапу витрачається зовсім незначна потужність джерела живлення.

Однак незважаючи на широке застосування, вартість варикапів залишається порівняно високою із-за низького виходу придатних варикапів, що визначається істотною залежністю зворотних характеристик варикапів від щільності структурних дефектів і домішок важких металів в їх активних областях. В статті розглянуті причини та механізми деградації зворотних характеристик варикапа. Встановлено, що головною причиною низького відсотка виходу придатних досліджуваних варикапів є окислювальні дефекти упакування, що утворюються в кремнієвих структурах в процесі проведення високотемпературних технологічних операцій. Для запобігання утворенню ОДУ, які були виявлені в епітаксійних структурах після термічного окислення, або зменшення їх щільності необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Так як ОДУ утворюються, починаючи з першої високотемпературної технологічної операції – термічного окислення, то очевидно, що слідє використовувати гетерування уже на самому початку технологічного маршруту виготовлення варикапа. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксціальних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою проведення дифузії бору в неробочу сторону пластин перед їх термічним окисленням. Робота присвячена дослідженню порівняльної ефективності використання методу гетерування проведенням додаткової дифузії бору в неробочу сторону пластин: стандартного методу, який здійснюється після термічного окислення пластин, та модернізованого методу, який здійснюється перед термічним окисленням пластин, на рівень зворотного струму варикапних структур та відсоток виходу придатних приладів. Наведено експериментальні результати дослідження впливу на зворотну характеристику варикапа кожного з досліджуваних процесів гетерування, а також проаналізовано можливі механізми цього впливу.

**Ключові слова:** варикап, гетерування, дифузія бору, дефекти упакування, зворотний струм, домішки.

### **Litvinenko V. M. Study of the efficiency of heterogeneity of structural defects by diffusion doping in the production of silicon diodes**

A varicap is a semiconductor diode whose operation is based on the use of the dependence of the capacitance on the reverse voltage and which is intended for use as an element with an electrically controlled capacitance. The barrier (charge) capacity of the  $p-n$  junction is used as the controlled capacity. Diffusion capacitance is not suitable for this purpose, as it manifests itself in the direct bias of the  $p-n$  junction, when the level of direct current through the diode is large, therefore, to control the value of diffusion capacitance, it is necessary to spend significant power of the power source. At the same time, changing the value of the barrier capacity when the varicap is turned on in reverse consumes very little power from the power source.

However, despite the wide application, the cost of varicaps remains relatively high due to the low yield of suitable varicaps, which is determined by the significant dependence of the inverse

*characteristics of varicaps on the density of structural defects and heavy metal impurities in their active regions. The article discusses the causes and mechanisms of degradation of the reverse characteristics of the varicap. It was established that the main reason for the low percentage of yield of suitable investigated varicaps is the oxidation defects of the packaging formed in silicon structures during high-temperature technological operations. In order to prevent the formation of ODEs, which were detected in epitaxial structures after thermal oxidation, or to reduce their density, it was necessary to choose an effective method of heterization. Since ODUs are formed starting with the first high-temperature technological operation – thermal oxidation, it is obvious that heterization should be used at the very beginning of the technological route of varicap production. The conducted studies showed that the most effective method of preventing the formation of structural defects in epitaxial layers is the creation of a heterogenous region on the reverse side of the substrates by diffusion of boron to the non-working side of the plates before their thermal oxidation. The work is devoted to the study of the comparative efficiency of using the heterization method by carrying out additional diffusion of boron to the non-working side of the plates: the standard method, which is carried out after thermal oxidation of the plates, and the modernized method, which is carried out before thermal oxidation of the plates, on the level of reverse current of varicap structures and the percentage of output of suitable devices. The experimental results of the study of the influence on the inverse characteristic of the varicap of each of the researched heterogenization processes are presented, as well as the possible mechanisms of this influence are analyzed.*

**Key words:** varicap, heterogenization, boron diffusion, packing defects, reverse current, impurities.

**Постановка проблеми.** Проблемою виробництва кремнієвих напівпровідникових діодів є порівняно висока їх вартість, що пояснюється низьким виходом придатних діодів із-за високого рівня зворотного струму приладів. Як показали дослідження, причиною низького виходу діодів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів і сторонніх домішок [1, 2]. Серед структурних дефектів, що утворюються в активних областях варикапних структур в процесі проведення високотемпературних операцій, в першу чергу, слід відмітити окислювальні дефекти упакування (ОДУ) [3]. Не декоровані домішками ОДУ практично не створюють впливу на зворотні характеристики діодів. Взаємодія ОДУ з домішками металів, які попадають на кремнієві пластини з травильних розчинів та кварцової оснастки дифузійних печей, а також взаємодія дефектів з матеріалами омичних контактів, нприклад Ni та Al, призводить до збільшення рівня зворотного струму діодів. Для зменшення щільності структурно-домішкових дефектів в кремнії використовуються різні методи гетерування [4], але, як показала практика, багато з них виявляються малоефективними для зниження рівня зворотного струму діодів.

Метою даної роботи є дослідження порівняльної ефективності впливу стандартного та модернізованого методів гетерування проведенням додаткової дифузії бору в неробочу сторону пластин на рівень зворотного струму діодних структур та відсоток виходу придатних приладів.

**Експериментальні зразки.** Досліджувані варикапні структури виготовлялися за стандартною планарно-епітаксальною технологією [7] на легованих фосфором кремнієвих епітаксійних структурах n-типу провідності з питомим опором  $1,8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  товщиною 10 мкм, вирощених на орієнтованій в кристалографічному напрямку (111) кремнієвій підкладці. Для виготовлення варикапних структур проводилися наступні основні технологічні операції: – термічне окислення пластин в парах води за температури  $T = 1050^\circ\text{C}$  із подальшим відпалом в середовищі аргону за температури процесу окислення; – нанесення на робочу сторону пластин захисного шару фоторезиста ФП383 і виделення шару  $\text{SiO}_2$  з неробочої сторони пластини травленням в плавиковій кислоті. – проведення дифузії бору в неробочу сторону пластин при  $T = 1200^\circ\text{C}$  на протязі 1 год в суміші аргону



(120 л/г) і кисню (5 л/год) із твердого джерела  $B_2O_3$ ; – видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; – (I) фотолітографія для відкривання вікон у шарі діоксиду кремнію під дифузію бору; – загонка бору в робочу сторону пластин методом відкритої труби з джерела домішки  $B_2O_3$  за температури  $1100^\circ C$  протягом 25 хв у суміші аргону (100 л/год) і сухого кисню (3 л/год); – видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; – розгонка бору за температури  $1150^\circ C$  з подальшим чергуванням циклів: розгонка в середовищі сухого кисню (20 хв) → розгонка в середовищі вологого кисню (3,5 год) → розгонка в середовищі сухого кисню (40 хв); – (II) фотолітографія для відкривання вікон у шарі діоксиду кремнію для створення омичного контакту з робочої сторони пластини; – осадження плівки алюмінію в вакуумі на робочу сторону пластин, проведення фотолітографії по шару алюмінію і відпал контакту в інертному середовищі за температури  $550^\circ C$  на протязі 15 хвилин; – шліфування тильної сторони пластин до товщини 190–210 мкм; – формування омичного контакту з неробочої сторони пластини: хімічне осадження Ni з подальшим відпалом плівки нікелю за температури  $680^\circ C$  у середовищі аргону (200 л/год) протягом 25 хв.

Примітка. Додаткова дифузія бору в зворотну сторону пластини після проведення термічного окислення пластин є гетерувальним технологічним процесом, що проводиться з метою ліквідації структурних дефектів типу ОДУ в активних областях варикапних структур. Застосування методу гетерування проведенням додаткової дифузії бору докладно розглянуто в [8].

У результаті була отримана структура варикапа, наведена на рис. 1.

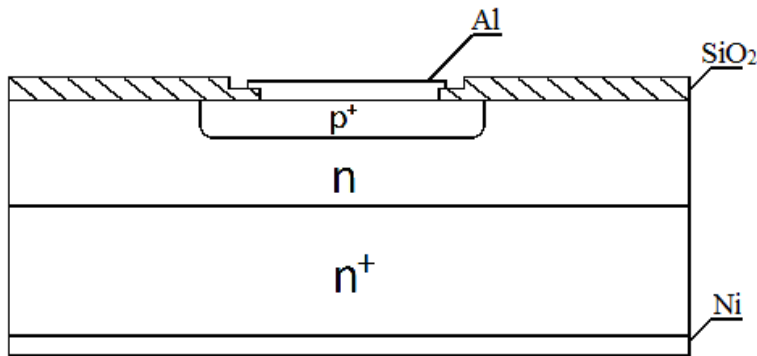
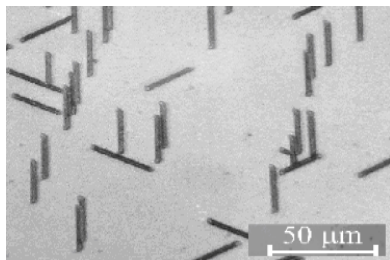


Рис. 1. Структура варикапа, що виготовлена за базовою технологією

**Дослідження структурних дефектів.** Для з'ясування причин низького відсотка виходу придатних варикапів були проведені металографічні дослідження. Для виявлення структурних дефектів використовувався травник Сіртла. Вид структурних дефектів і їх щільність оцінювалися за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-1. На пластинах після проведення технологічної операції «термічне окислення пластин» були виявлені дефекти упаковки щільністю до  $7 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ , при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 20 с (рис. 2).

**Вибір технології гетерування.** З метою запобігання утворенню та ліквідації структурних дефектів у структурах кремнієвих діодів, зазвичай, застосовують гетерування – технологічний процес, що широко використовується у сучасному виробництві кремнієвих напівпровідникових приладів та інтегральних схем.

Гетерування дає можливість накопичувати небажані домішки в неробочих ділянках пластин і повністю ліквідувати структурні дефекти або значно зменшити щільність дефектів в активних областях діодів [4–6].



*Рис. 2. Мікрофотографія поверхні епітаксильної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення*

Для запобігання утворенню ОДУ, які були виявлені в епітаксійних структурах після термічного окислення, або зменшення їх щільності необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Так як ОДУ утворюються, починаючи з першої високотемпературної операції – термічного окислення, то очевидно, що слідє використовувати гетерування уже на самому початку технологічного маршрута виготовлення варикапа. За базовою технологією в технологічному маршруті виготовлення варикапних структур використовується метод гетерування проведенням дифузії бору в неробочу сторону пластин після їх термічного окислення (див. розділ «експериментальні зразки»), що дало можливість, як показали дослідження, підвищити вихід придатних діодних структур на 10–15%. З метою підвищення ефективності гетерування дефектів і домішок в активних областях діодних структур і підвищення виходу придатних варикапів була проведена модернізація процесу гетерування дифузійним легуванням, яка заключалась в наступному. Перед термічним окисленням на робочу сторону пластин методом окислення моносилана осаджується захисна плівка  $\text{SiO}_2$  товщиною 0,35 мкм при температурі підкладки 350°C. Гетеруючий процес дифузії проводився із твердого джерела в вакуумі при залишковому тиску 1,3 Па при температурі 1100°C на протязі 40 хв.

Проведені перед формуванням омичних контактів металографічні дослідження на варикапних структурах, виготовлених із застосуванням модернізованого методу гетерування проведенням дифузії бору в неробочу сторону пластин перед термічним окисленням, показали відсутність в них окислювальних дефектів упакування (рис. 3).



*Рис. 3. Поверхня варикапної структури, виготовленої з використанням гетерування дифузійним легуванням*

**Дослідження ефективності розробленої технології.** Для випробування модернізованого способу гетерування дифузійним легуванням були сформовані експериментальні партії варикапних структур, кожна з яких ділилася на дві рівні частини: одна частина партії була виготовлена з використанням стандартного методу гетерування дифузійним легуванням, інша – з використанням запропонованого модернізованого методу гетерування дифузійним легуванням. Ефективність використання запропонованого способу оцінювалася за відсотком виходу придатних варикапних структур на їх контролі по рівню зворотних струмів ( $I_{зв}$ ). Критерій придатності:  $I_{зв} \leq 0,2$  мкА при зворотній напрузі 35 В.

У таблиці 1 наведені порівняльні результати контролю за зворотним струмом варикапних структур, що виготовлені за базовою (партії № 4–6) і розробленою (партії № 1–3) технологіями. Видно, що використання запропонованої технології дає можливість підвищити вихід придатних варикапних структур у середньому на 5,7%. При цьому варикапні структури, виготовлені з використанням розробленого методу гетерування, мали рівень зворотних струмів в 2 рази нижчий у порівнянні з варикапними структурами, виготовленими з використанням стандартного методу гетерування.

Таблиця 1

**Порівняльні результати контролю за зворотним струмом варикапних структур, що виготовлені за базовою і розробленою технологіями**

Спосіб виготовлення варикапних структур	Номер експериментальної партії	Вихід придатних варикапних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, %
З використанням розробленого методу гетерування	1	93
	2	92
	3	93
З використанням стандартного методу гетерування	4	87
	5	88
	6	86

Отже, використання запропонованого способу гетерування дозволяє суттєво підвищити вихід придатних варикапних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, істотно знизивши при цьому рівень зворотних струмів варикапів.

На рис. 4 приведені зворотні ВАХ варикапних структур, виготовлених з використанням стандартного та розробленого методів гетерування. Видно, що варикапна структура, виготовлена з використанням розробленого методу гетерування має за зворотної напруги 35 В рівень зворотного струму приблизно в 2 рази менший, а також більшу пробивну напругу у порівнянні з варикапною структурою, виготовленою з використанням стандартного методу гетерування.

Одержані експериментальні результати можна пояснити наступним чином. При використанні стандартного методу гетерування в процесі проведення термічного окислення пластин в кремнії утворюються ОДУ, так як перед термічним окислення в кремнієвих пластинах знаходяться зародки ОДУ, які можуть утворюватись в кремнії при вирощуванні злитків і в процесі епітаксії. Утворені ОДУ повинні ліквідуватись в послідовному процесі гетерування проведенням дифузії бору в неробочу сторону пластини при температурі 1200°C в суміші аргону і кисню. При цьому повне очищення об'єму кремнієвої пластини від структурних

дефектів не гарантовано. При використанні розробленого методу гетерування дифузійним легуванням для захисту робочої сторони пластин використовують піролітичну плівку двоокису кремнію товщиною 0,35 мкм, осаджену за температури підкладки 350°C, що виключає утворення структурних дефектів в кремнії. В процесі гетерування, яке проводиться в вакуумі при температурі 1100°C відбувається ліквідація зародків ОДУ. Це запобігає утворенню ОДУ в процесі термічного окислення пластин та послідовних термічних операцій. Крім того, в процесі термічного окислення і послідовних термічних операцій область гетера ефективно поглинає неконтрольовані домішки із об'ємної і приповерхневої областей пластини, зменшуючи тим самим зворотні струми варикапів.

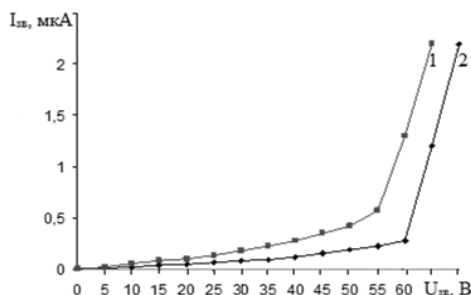


Рис. 4. Типові зворотні ВАХ варикапних структур: 1 – варикапна структура, виготовлена з використанням стандартного методу гетерування; 2 – варикапна структура, виготовлена з використанням розробленого методу гетерування

**Висновки.** За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що причиною низького відсотка виходу придатних варикапних структур при контролюванні їх зворотного струму є окислювальні дефекти упакування, які утворюються в активних областях діодів в процесах проведення високотемпературних технологічних операцій.

Перевага розробленого методу гетерування у порівнянні зі стандартним методом заключається в наступному: використання розробленого методу гетерування практично гарантує відсутність ОДУ в пластинах кремнію, так як перед проведенням термічного окислення з об'єму кремнієвих пластин видаляються зародки ОДУ. В той же час використання стандартного методу гетерування проведенням дифузії бору в неробочу сторону пластин після термічного окислення такої гарантії не дає.

Таким чином, розроблена технологія гетерування проведенням дифузії бору в неробочу сторону пластин перед їх термічним окисленням дає можливість запобігти утворенню окислювальних дефектів упакування в активних областях діодів, що забезпечує зниження рівня зворотних струмів діодів і, як наслідок, підвищення відсотка виходу придатних приладів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Milnes A. G. Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 1973. 526 p.
2. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. Impurities and defects in silicon single crystal // Progress Crystal Growth and Characterization, 1987. Vol. 15. № 2. P. 97-131.
3. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.

4. Литвиненко В.М., Богач М.В. Моделювання процесів гетерування швидко-дифундуючих домішок в технології діодів Шоттки. Вісник ХНТУ, 2019. Т. 68. № 1. С. 25-33.

5. Lecrosnier D., Paugam J., Richou F. et al. Influence of phosphorus-induced point defects on a gold– gettering mechanism in silicon // *J. Appl. Phys.*, 1980. Vol. 51. № 2. P. 1036-1040.

6. Renschi S. Durability of mechanical damage gettering effect in Si wafers // *Japanese Journal of Applied Physics*, 1984. Vol. 23, №8. Pt.1. P. 959-964.

7. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів: монографія. Херсон : ФОП Вишемирський В.С, 2018. 184 с.

8. Литвиненко В.М., Волос О.О., Шутов С.В., Самойлов М.О. Оптимізація технології виготовлення варикапів з омичними контактами на основі Ni та Al // *Біомедична інженерія та електроніка*. № 5, 2017. С. 120-131.

#### REFERENCES:

1. Milnes A. G. (1973) *Deep Impurities In Semiconductors*. John Wiley & Sons, New York, 526 p.

2. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. (1987) Impurities and defects in silicon single crystal // *Progress Crystal Growth and Characterization*, 15(2), 97-131.

3. Ravi K.V. (1981) *Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon*. John Wiley & Sons, New York, 379 p.

4. Litvinenko V. M., Bohach N. V. (2019) Modeling of heterization processes of fast-diffusing impurities in Schottky diode technology. *Visnyk of KhNTU*, vol. 68, iss. 1, pp. 25–33 [in Ukrainian].

5. Lecrosnier D., Paugam J., Richou F. et al. (1980) Influence of phosphorus-induced point defects on a gold– gettering mechanism in silicon // *J. Appl. Phys.*, 51(2), 1036-1040.

6. Renschi S. (1984) Durability of mechanical damage gettering effect in Si wafers // *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 23, no. 8, pt.1, pp. 959-964.

7. Litvinenko V.M. (2018) *Fizyka ta tekhnolohiya napivprovodnykovykh diodiv: monograph [Physics and Technology of Semiconductor Diodes]*. Kherson. Vysheirsky V.S., 184 p. [in Ukrainian].

8. Litvinenko V.M., Volos O.O., Shutov S.V., Samoiloiv M.O. (2017) Optimization of the manufacturing technology of varicaps with ohmic contacts based on Ni and Al // *Biomedical engineering and electronics*, iss. 5, pp.120-131 [in Ukrainian].

## ЗМІСТ

<b>КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	3
<b>Андрєєвська Г. М., Литвиненко В. В.</b> Переваги використання системи GeoGebra при дистанційному навчанні студентів ОНМУ дисциплінам інженерного профілю ..3	
<b>Antonenko A. V., Tverdokhlib A. O., Vostrikov S. O., Behlitsov S. V., Herhel O. H., Bobkov R. A.</b> Optimization of wireless networks using the INET framework.....	11
<b>Hrabovskiy Ye. M., Kobzev I. V.</b> Improvement of 3D graphics image optimization technology.....	25
<b>Іваненко В. А.</b> Впровадження нейромережєвих алгоритмів при прогнозуванні динаміки цін фінансових активів .....	36
<b>Krakovetskiy O. Yu., Shevchenko N. Yu.</b> Rick analysis of generative artificial intelligence in education and research with guidelines for responsible use and role attribution.....	50
<b>Кундос М. Г., Соловей Л. Я., Грисюк А. В., Багнюк О. М.</b> Ефективність і багатопотоковість паралельних обчислень у системному програмуванні .....	60
<b>Плахов В. Ю., Доценко Н. В.</b> Автоматизація управління проєктними показниками через використання AI та Predictive Analytics .....	65
<b>Свистунов А. О.</b> Комуникативна платформа для побудови та дослідження методів генерації програм на основі натуральних мов із використанням штучного інтелекту..	79
<b>Трофименко О. Г., Лобода Ю. Г., Дика А. І., Мільченко О. О., Стрілець М. І.</b> Штучний інтелект у системному аналізі .....	85
<b>Тузова І. А., Тузов О. В., Панченко Т. Д., Чумак О. А., Коновалов С. М.</b> Оцінка якості програмного засобу методом експертних оцінок.....	98
<b>Тузова І. А., Тузов О. В., Панченко Т. Д., Чумак О. А., Стародуб В. І.</b> Аналіз моделей якості програмного забезпечення .....	106
<b>Tsudzenko Yu. Ye., Mysiuk I. V., Mysiuk R. V.</b> Application of hybrid federated learning models integrating blockchain and machine learning.....	114
<b>СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ</b> .....	124
<b>Михайлов Н. О.</b> Проєктування та навчання моделі штучного інтелекту для планування й оцінки ризиків проєктів .....	124
<b>ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	130
<b>Бреніч О. Р., Неїленко С. М., Антоненко А. В.</b> Стратегії розвитку готельно-ресторанного сектору в умовах глобальних криз та нестабільності.....	130
<b>Варнавська І. В.</b> Профілактика і подолання емоційного вигорання фахівців підприємств харчової і переробної промисловості.....	142
<b>Вогнівенко Л. П., Качур Г. М.</b> Використання водоростей як альтернативної сировини для харчової промисловості.....	150
<b>Вогнівенко Л. П., Літвінова К. С.</b> Біотехнології в харчовій промисловості: інновації та можливості.....	157
<b>Коваль О. А., Кліщ Н. М.</b> Дослідження впливу кисломолочних маринадів на якість курячих напівфабрикатів для ЗРГ .....	163

<b>Колеснікова М. Б., Юрченко С. Л., Андрєєва С. С., Черемська Т. В., Шевченко С. В.</b> Обґрунтування технології краб-кейків на основі аналогів морепродуктів з використанням принципів Lean Production.....	171
<b>Кузнєцова І. В., Касамара А. С.</b> Дослідження резистентного картопляного крохмалю RS3.....	182
<b>Новікова Н. В., Проценко Г. Ю.</b> Аналіз сировини для розробки дієтичної ковбаси з індички з додаванням рослинної сировини.....	187
<b>Павлюченко О. С., Ганзій О. О.</b> Удосконалення асортименту холодних закусок на основі рослинної сировини для закладів ресторанного господарства.....	194
<b>Павлюченко О. С., Сабіров О. В., Прохоренко Д. М.</b> Організація та технологія виробництва борошняного напівфабрикату спеціального призначення для закладів ресторанного господарства .....	206
<b>Паперняк Р. В., Шинкарик М. М., Кравець О. І., Лукіяничук Б. Я.</b> Комплексний підхід до оцінки машинно-апаратного забезпечення виробництва сиру кисломолочного .....	214
<b>Приліпко Т. М.</b> Розробка бар'єрної технології консервування натуральних кишкових оболонки .....	225
<b>Резвих Н. І., Ахтеменко Т. П.</b> Розробка рецептурної композиції хліба спеціального призначення з подовженим строком придатності .....	233
<b>Стукальська Н. М., Кузьмін О. В., Устинська К. Я.</b> Удосконалення рибних січених страв з додаванням рослинної сировини .....	238
<b>Федорова Д. В., Ланська В. Д.</b> Технологія безглютенового хліба на заквасці з клітковиною картоплі.....	246
<b>ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	258
<b>Zavodyanniy V. V.</b> Independent work during physics learning using solution of practical and theoretical problems .....	258
<b>Литвиненко В. М.</b> Дослідження ефективності гетерування структурних дефектів дифузійним легуванням у виробництві кремнієвих діодів .....	263

---

## CONTENTS

<b>COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY .....</b>	<b>3</b>
<b>Andreyevska G. M., Litvinenko V. V.</b> Advantages of using the GeoGebra system for distance learning in engineering disciplines.....	3
<b>Antonenko A. V., Tverdokhlib A. O., Vostrikov S. O., Behlitsov S. V., Herhel O. H., Bobkov R. A.</b> Optimization of wireless networks using the INET framework.....	11
<b>Hrabovskiy Ye. M., Kobzev I. V.</b> Improvement of 3D graphics image optimization technology.....	25
<b>Ivanenko V. A.</b> Implementation of neural network algorithms in forecasting the price dynamics of financial assets.....	36
<b>Krakovetskiy O. Yu., Shevchenko N. Yu.</b> Rick analysis of generative artificial intelligence in education and research with guidelines for responsible use and role attribution.....	50
<b>Kundos M. G., Solovei L. Ya., Hrysyuk A. V., Bahniuk O. M.</b> Efficiency and multi-threading of parallel calculations in systems programming.....	60
<b>Plakhov V. Yu., Dotsenko N. V.</b> Automation of project KPI management through the use of AI and predictive analytics.....	65
<b>Svystunov A. O.</b> Communicative platform for classifying and constructing program generation methods based on natural language using artificial intelligence.....	79
<b>Trofymenko O. G., Loboda Yu. G., Dyka A. I., Milchenko O. O., Strilets M. I.</b> Artificial intelligence in systems analysis.....	85
<b>Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A., Konovalov S. M.</b> Software quality assessment using expert assessment.....	98
<b>Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A., Starodub V. I.</b> Analysis of software quality models.....	106
<b>Tsudzenko Yu. Ye., Mysiuk I. V., Mysiuk R. V.</b> Application of hybrid federated learning models integrating blockchain and machine learning .....	114
<b>SYSTEM ANALYSIS .....</b>	<b>124</b>
<b>Mykhailov N. O.</b> Designing and training an artificial intelligence model for project planning and risk assessment.....	124
<b>FOOD TECHNOLOGY .....</b>	<b>130</b>
<b>Brenych O. R., Neilenko S. M., Antonenko A. V.</b> Development strategies of the hotel and restaurant sector in the conditions of global crises and instability .....	130
<b>Varnavska I. V.</b> Prevention and overcoming of emotional burnout of specialists of food and processing industry enterprises.....	142
<b>Vohnivenko L. P., Kachur H. M.</b> Use of algae as an alternative raw material for the food industry.....	150
<b>Vognivenko L. P., Litvynova K. S.</b> Biotechnology in the food industry: innovations and opportunities.....	157



<b>Koval O. A., Klisch N. M.</b> Research on the influence of fermented milk marinades on the quality of chicken semi-fabricated products for restaurant establishments .....	163
<b>Kolesnikova M. B., Iurchenko S. L., Andreeva S. S., Cheremska T. V., Shevchenko C. V.</b> Substantiation of the technology of crab cakes based on seafood analogues using the principles of lean production .....	171
<b>Kuznietsova I. V., Kasamara A. S.</b> Research of resistant potato starch RS3 .....	182
<b>Novikova N. V., Proscenko G. Yu.</b> Analysis of raw material for development turkey-based dietary sausage with the addition of plant-based ingredients.....	187
<b>Pavlyuchenko O. S., Hanziy O. O.</b> Improvement of the assortment of cold appetizers based on plant-based ingredients for restaurant enterprises .....	194
<b>Pavlyuchenko O. S., Sabirov O. V., Prokhorenko D. M.</b> Organization and technology of production of semi-finished flour for special purposes for restaurant establishments.....	206
<b>Paperniak R. V., Shynkaryk M. M., Kravets O. I., Lukiyanchuk B. Ya.</b> A comprehensive approach to the evaluation of cottage cheese production equipment..	214
<b>Prylipko T. M.</b> Development of barrier technology for preserving natural intestinal membranes .....	225
<b>Rezvykh N. I., Akhtemenko T. P.</b> Development of recipe composition of special purpose bread with extended expiration date .....	233
<b>Stukalska N. M., Kuzmin O. V., Ustynska K. Ya.</b> Improvement of chopped fish dishes with the addition of vegetable raw materials .....	238
<b>Fedorova D. V., Lanska V. D.</b> Technology of gluten-free sourdough bread with potato fibre .....	246
<b>HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES</b> .....	258
<b>Zavodyannyi V. V.</b> Independent work during physics learning using solution of practical and theoretical problems .....	258
<b>Litvinenko V. M.</b> Study of the efficiency of heterogeneity of structural defects by diffusion doping in the production of silicon diodes .....	263

# **Таврійський науковий вісник**

## **Випуск 5**

### **Технічні науки**

Підписано до друку 02.12.2024 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 22,26. Зам. № 0125/063

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](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.