

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»
2023

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

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 4 від 30.11.2023 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 5. 210 с.

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

Свідоцтво про державну реєстрацію: Серія КВ № 24810-14750ПР від 31.05.2021 року.

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; **Гопеснко 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; **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 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.1>

КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ БІКУБІЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТА ФІЛЬТРА ЛАНЦОША

Бодашевський Д. Р. – студент магістратури факультету
прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0009-0002-5284-1162

Потапова К. Р. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри системного програмування
і спеціалізованих комп'ютерних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-3347-6350

Вовк Л. Б. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-3098-8078

Радченко К. О. – асистент кафедри системного програмування
і спеціалізованих комп'ютерних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-1282-6307

Наливайчук М. В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри системного програмування
і спеціалізованих комп'ютерних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-8942-9844

У сучасному світі цифрових технологій обробка зображень відіграє ключову роль у численних галузях. Від медичної візуалізації, яка вимагає високої чіткості для точних діагнозів, до супутникової розвідки, що спирається на деталізовані зображення для моніторингу земних та атмосферних явищ. Також це стосується мультимедійних продуктів, де якість зображення безпосередньо впливає на сприйняття контенту користувачами. Одне з основних завдань у цій сфері – збільшення розміру зображень із збереженням їхньої якості.

Традиційні методи, такі як бікубічна інтерполяція та метод Ланцоша, вже давно використовуються у цій області через їх простоту та ефективність. Хоча вони ефективні для помірної збільшення зображень, при значному збільшенні вони часто призводять до втрати якості, зокрема до розмиття та поганого збереження деталей. Особливо це стає критичним у ситуаціях, де необхідна висока деталізація, наприклад, у медичних знімках для точної діагностики або в супутникових зображеннях для точного моніторингу змін на Землі. Тому з'являється потреба у більш вдосконалених методах збільшення розміру зображень, які здатні зберегти високу якість деталей навіть при значному збільшенні.

У відповідь на ці виклики, сучасні технології, зокрема глибинне навчання та нейронні мережі, пропонують новітні підходи до обробки зображень. Ці методи здатні значно підвищити якість зображень, зокрема за рахунок вдосконаленого відтворення деталей та зменшення розмиття. Однак, вони вимагають значних обчислювальних ресурсів та великих наборів даних для ефективного навчання, що може бути обмежувальним фактором для їх застосування у практичних сценаріях. Крім того, складність налаштування та тонкої настройки нейронних мереж також може бути бар'єром для широкого використання цих методів.

Враховуючи ці обмеження, комбінований підхід, який включає елементи класичних технік, видається оптимальним рішенням. Такий метод може поєднувати простоту та надійність класичних методів з високою якістю та деталізацією. Це дозволяє досягти високої якості зображень з помірними обчислювальними витратами.

Ця стаття детально аналізує та порівнює класичні методи з комбінованим підходом, використовуючи різноманітні метрики якості, такі як PSNR, для об'єктивної оцінки результатів. Окрім якості зображень, також розглядаються час обробки та ефективність використання ресурсів, що є важливими аспектами у виборі методу обробки зображень. Комбінований підхід, що інтегрує класичні та новітні методи, може стати ефективним інструментом у сучасних застосуваннях обробки зображень, забезпечуючи високу якість та ефективність.

Ключові слова: Бікубічна інтерполяція, Білінійний алгоритм, Фільтр Ланцоша, апскейлінг.

Bodashevskiy D. R., Potapova K. P., Vovk L. B., Radchenko K. O., Nalyvaichuk M. V.
A combined approach to improving image quality using bicubic interpolation and a Lanczos filter

In today's digital world, image processing plays a key role in numerous industries. From medical imaging, which requires high definition for accurate diagnoses, to satellite reconnaissance, which relies on detailed images to monitor terrestrial and atmospheric phenomena. This also applies to multimedia products, where image quality directly affects the user's perception of the content. One of the main challenges in this area is to increase the size of images while maintaining their quality.

Traditional methods, such as bicubic interpolation and the Lanczos method, have long been used in this area because of their simplicity and efficiency. While they are effective for moderate image enlargement, when enlarged significantly, they often result in quality loss, such as blurring and poor detail preservation. This is especially critical in situations where high detail is required, such as medical images for accurate diagnosis or satellite images for precise monitoring of changes on Earth. Therefore, there is a need for more advanced methods of image enlargement that can preserve high quality details even at high magnification.

In response to these challenges, modern technologies, such as deep learning and neural networks, offer new approaches to image processing. These methods can significantly improve

the quality of images, in particular by enhancing the reproduction of details and reducing blurring. However, they require significant computational resources and large datasets for effective training, which can be a limiting factor for their application in practical scenarios. In addition, the complexity of setting up and fine-tuning neural networks can also be a barrier to the widespread use of these methods.

Given these limitations, a combined approach that includes elements of classical techniques seems to be the best solution. This method can combine the simplicity and reliability of classical methods with high quality and detail. This allows achieving high image quality with moderate computational costs.

This article analyzes and compares classical methods in detail with the combined approach, using various quality metrics such as PSNR to objectively evaluate the results. In addition to image quality, processing time and resource efficiency are also considered, which are important aspects in choosing an image processing method. A combined approach that integrates classical and state-of-the-art methods can be an effective tool in modern image processing applications, providing high quality and efficiency.

Key words: Bicubic interpolation, Bilinear algorithm, Lanczos filter, upscaling.

Постановка задачі. Основною метою дослідження є розробка та аналіз ефективності комбінованого методу збільшення розміру зображень, який інтегрує бікубічну інтерполяцію та фільтрацію Ланцоша, з подальшим порівнянням його з класичними методами. Задача полягає у визначенні оптимального співвідношення цих двох технік для досягнення найкращої якості зображення, вимірної за допомогою стандартних метрик, таких як PSNR та забезпечення прийняттого часу обробки.

Принципи збільшення роздільної здатності зображення. У сфері цифрової обробки зображень, збільшення розміру зображень є фундаментальною задачею, яка вимагає високої точності та збереження деталей. Цей процес, відомий також як апскейлінг, включає в себе створення нових пікселів із наявної інформації, що вимагає використання алгоритмів для ефективного заповнення просторових прогалів.

Основна ідея, яка стоїть за цим процесом, полягає у зростанні кількості пікселів, що дозволяє перетворити зображення з низькою роздільною здатністю на зображення з вищою роздільною здатністю. Візьмемо для прикладу маленьке зображення розміром 2×2 пікселі, яке потрібно збільшити до розміру 5×5 пікселів, як це ілюструється на Рисунок 1. У цьому процесі, первинні кольори чотирьох пікселів, ідентифікованих як А, В, С та D у схемі (a), реплікуються у нових позиціях А, В, С та D на схемі (b), відповідно до обраного масштабу збільшення. Проте, між цими позиціями з'являються нові пікселі, кольорові значення яких потребують уточнення, як, наприклад, піксель Р. Таким чином, визначення кольорів цих новостворених пікселів вимагає використання спеціалізованих методів інтерполяції [1]

Дослідження підходів до розв'язання задачі інтерполяції зображень. Бікубічна інтерполяція є важливим інструментом у сфері цифрової обробки зображень, який використовується для зміни розмірів та покращення якості графічних даних. Цей метод, який є розвинутою формою білінійної інтерполяції, застосовує кубічні поліноми для більш гладкого та точного відтворення відсутніх пікселів. Перш ніж перейти до бікубічної інтерполяції, розглянемо основи білінійної інтерполяції.

У білінійній інтерполяції, піксель у збільшеному зображенні, відомий як Р, спочатку відображається на відповідну позицію у вихідному зображенні. Далі відбувається оцінка впливу чотирьох найближчих пікселів, позначених як А, В, С та D, де відстань до Р визначає вагу впливу кожного з них на кінцеве значення Р. Чим менша відстань до Р, тим більший вплив та вага відповідного пікселя.

На рисунку 2 представлено схему білінійної інтерполяції. Координати пікселів А, В, С та D можна визначити як (i, j) , $(i, j+1)$, $(i+1, j)$ та $(i+1, j+1)$ відповідно, тоді

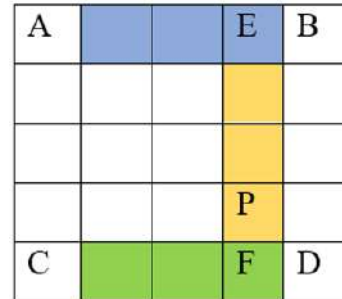
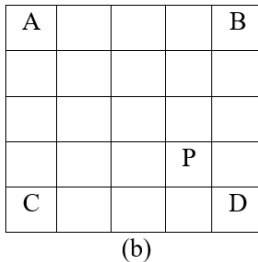
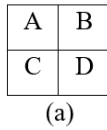


Рис. 1. Принцип збільшення зображення

Рис. 2. Схема білінійної інтерполяції

як координати P визначаються як (u, v) . Процес білінійної інтерполяції для пікселя P включає три основні кроки:

Крок 1: обчислити вплив A і B і позначити його як E.

$$f(i, j + v) = [f(i, j + 1) - f(i, j)]v + f(i, j)$$

Крок 2: розрахувати вплив C і D і позначити його як F.

$$f(i + 1, j + v) = [f(i + 1, j + 1) - f(i + 1, j)]v + f(i + 1, j)$$

Крок 3: розрахувати вплив E і F і позначити його як P.

$$f(i + u, j + v) = (1 - u)(1 - v)f(i, j) - (1 - u)vf(i, j + 1) + \\ u(1 - v)f(i + 1, j) + uvf(i + 1, j + 1)$$

[4] Бікубічна інтерполяція використовує розширену сітку з 16 пікселів, розташованих навколо пікселя, для якого необхідно визначити нове значення. Основна мета цього методу – створити кубічну поліноміальну функцію, яка забезпечує плавний перехід між пікселями, знижуючи ризик виникнення різких перепадів у значеннях. Візуалізація цього процесу представлена на рисунку 3.

Для досягнення цієї плавності бікубічна інтерполяція включає кілька етапів:

Крок 1: Визначається 4x4 сітка найближчих пікселів, що охоплює область навколо цільової точки (u, v) , яка є центром цієї сітки.

Крок 2: Розраховується вагове середнє цих 16 пікселів, де вага кожного пікселя залежить від його відстані до цільової точки (u, v) . Пікселі, розташовані ближче до цільової точки, мають більший вплив на остаточне значення.

Крок 3: Визначення значення нового пікселя в цільовій точці (u, v) відбувається шляхом обчислення кубічного полінома на основі відповідних координат.

Білінійна інтерполяція, яка є простішою за своєю природою, виконує збільшення шляхом лінійного взаємозв'язку між чотирма найближчими пікселями навколо цільової точки. Цей метод швидко обчислюється та вимагає менше обчислювальних ресурсів, що робить його ідеальним для застосувань, де швидкість є критичною, наприклад, в реальному часі або на пристроях з обмеженими ресурсами. Однак, білінійна інтерполяція може призводити до втрати деталей та

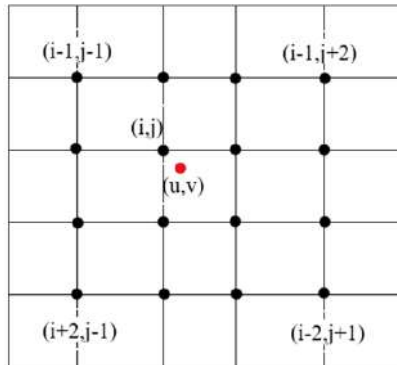


Рис. 3. Схема бікубічної інтерполяції

```
def bicubic_interpolation(image, target_height, target_width):
    original_height, original_width = image.shape[:2]

    original_x = np.arange(original_width)
    original_y = np.arange(original_height)

    target_x = np.linspace(start=0, original_width - 1, target_width)
    target_y = np.linspace(start=0, original_height - 1, target_height)

    interpolation_function = interp2d(original_x, original_y, image, kind='cubic')
    interpolated_image = interpolation_function(target_x, target_y)

    return interpolated_image
```

Рис. 4. Застосування бікубічної інтерполяції

введення артефактів, особливо в областях з високим контрастом або при значному збільшенні зображення.

З іншого боку, бікубічна інтерполяція використовує кубічні поліноми для визначення значень нових пікселів, що дозволяє досягти більш гладкого та природного переходу кольорів. Цей метод враховує шістнадцять найближчих пікселів навколо цільової точки, забезпечуючи вищу якість зображення з кращим збереженням деталей та меншою кількістю артефактів, що можна побачити на рисунку 5. Проте, це також означає, що бікубічна інтерполяція є більш вимогливою до обчислювальних ресурсів і може бути повільнішою в порівнянні з білінійною інтерполяцією [2].

Фільтр Ланцоша є ще одним важливим інструментом в арсеналі методів збільшення зображень, який використовується для покращення якості кінцевих зображень. Цей метод відомий своєю здатністю зберігати гостроту країв та деталізацію, що робить його особливо корисним для зображень з високим рівнем деталей, таких як текст або висококонтрастні графічні елементи.

Ресемплінг Ланцоша може використовуватися як фільтр низьких частот або для плавної інтерполяції значення цифрового сигналу між його зразками. У другому випадку, вона відображає кожен зразок заданого сигналу на перекладену та

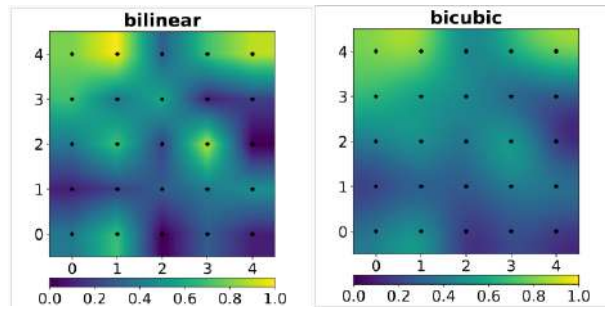


Рис. 5. Порівняння результатів інтерполяції

масштабовану копію ядра Ланцоша, яке є функцією sinc, обмеженою центральним лепестком другої, довшої функції sinc. Сума цих перекладених та масштабованих ядер потім оцінюється у бажаних точках.

Процес роботи фільтра Ланцоша полягає у використанні вагових коефіцієнтів, які залежать від відстані до цільової точки, що дозволяє зберегти більше інформації про оригінальне зображення. Це досягається шляхом обчислення вагових коефіцієнтів для кожного пікселя в залежності від його відстані від цільового пікселя, що дозволяє збільшити зображення з високою точністю [5].

Вплив кожного вхідного зразка на інтерпольовані значення визначається ядром реконструкції фільтра $L(x)$, яке називається ядром Ланцоша. Це нормалізована функція $\text{sinc}(x)$, яка множиться вікном Ланцоша, або вікном sinc, що є центральним лепестком горизонтально розтягнутої функції $\text{sinc}(x/a)$ для $-a \leq x \leq a$.

$$L(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x = 0 \\ \frac{\text{asin}(\pi x) \sin(\frac{\pi x}{a})}{\pi^2 x^2}, & \text{якщо } -a \leq x \leq a \text{ і } x \neq 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

Параметр a є додатнім цілим числом, зазвичай 2 або 3, яке визначає розмір ядра. Ядро Ланцоша має $2a - 1$ лепестків: один позитивний у центрі та $a - 1$ чергуючихся негативних та позитивних лепестків з кожного боку.

Для одновимірного сигналу з вибірками S_i для цілих значень i , значення $S(x)$, інтерпольоване в довільному дійсному аргументі x , отримується шляхом дискретної згортки цих вибірок з ядром Ланцоша [6]:

```
def lanczos_upscale(image_path, scale_factor, a=3):
    with Image.open(image_path) as img:
        new_width = int(img.width * scale_factor)
        new_height = int(img.height * scale_factor)
        upscaled_img = img.resize(size=(new_width, new_height), Image.LANCZOS)
    return upscaled_img
```

Рис. 6. Застосування фільтра Ланцоша

$$S(x) = \sum_{i=[x]-a+1}^{[x]+a} s_i L(x - i) \quad (2)$$

де a – параметр розміру фільтра, а x – функція округлення в меншу сторону. Межі цієї суми такі, що ядро дорівнює нулю за межами цих меж.

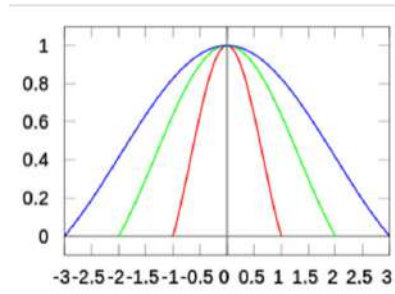


Рис. 7. Вікно Ланцоша для $a = 1, 2, 3$

На відміну від білінійної та бікубічної інтерполяції, фільтр Ланцоша вимагає більше обчислювальних ресурсів через складність своїх вагових функцій. Однак, завдяки своїй здатності досягати високої якості зображення без значної втрати деталей, він часто використовується в ситуаціях, де якість має вирішальне значення, і де можливе використання більш потужних обчислювальних систем.

У цій конкретній реалізації комбінованого методу збільшення зображень використовується функція `_resize_hybrid`, яка приймає два аргументи: зображення `img` та коефіцієнт масштабування `scale_multiplier`. Метод працює наступним чином:

1. Спочатку визначаються цільові розміри зображення, які обчислюються шляхом множення поточної ширини та висоти зображення на коефіцієнт масштабування.
2. Фіксується час початку операції для подальшого вимірювання часу виконання.
3. Зображення збільшується до цільових розмірів за допомогою бікубічної інтерполяції (`Image.BICUBIC`), що забезпечує плавне збільшення.
4. Паралельно зображення збільшується до тих же розмірів за допомогою фільтра Ланцоша (`Image.LANCZOS`), який використовується для зменшення артефактів та збереження гостроти країв.

```
def _resize_hybrid(self, img, scale_multiplier=1):
    target_width = int(img.width * scale_multiplier)
    target_height = int(img.height * scale_multiplier)
    start_time = time.time()

    bicubic_resized_img = img.resize((target_width, target_height), Image.BICUBIC)
    lanczos_resized_img = img.resize((target_width, target_height), Image.LANCZOS)

    hybrid_resized_array = np.array(bicubic_resized_img) * 0.5 + np.array(lanczos_resized_img) * 0.5
    hybrid_resized_img = Image.fromarray(np.uint8(hybrid_resized_array))

    end_time = time.time()
    elapsed_time = end_time - start_time
    return hybrid_resized_img, elapsed_time
```

Рис. 8. Застосування комбінації методів

5. Отримані збільшені зображення перетворюються в масиви NumPy, після чого вони комбінуються шляхом взяття середнього значення відповідних пікселів обох зображень. Таким чином, кожен піксель у вихідному комбінованому зображенні є середнім арифметичним відповідних пікселів з бікубічно збільшеного та ланцошево збільшеного зображень.

6. Кінцевий масив перетворюється назад у зображення за допомогою Image.fromarray, при цьому тип даних пікселів конвертується до pr.uint8, що є стандартним для зображень.

7. Фіксується час завершення операції, і обчислюється загальний час виконання.

Вихідними даними цієї функції є комбіноване зображення та витрачений на його створення. Такий підхід дозволяє об'єднати переваги обох методів інтерполяції, сподіваючись отримати кращу якість зображення, ніж при використанні кожного методу окремо.

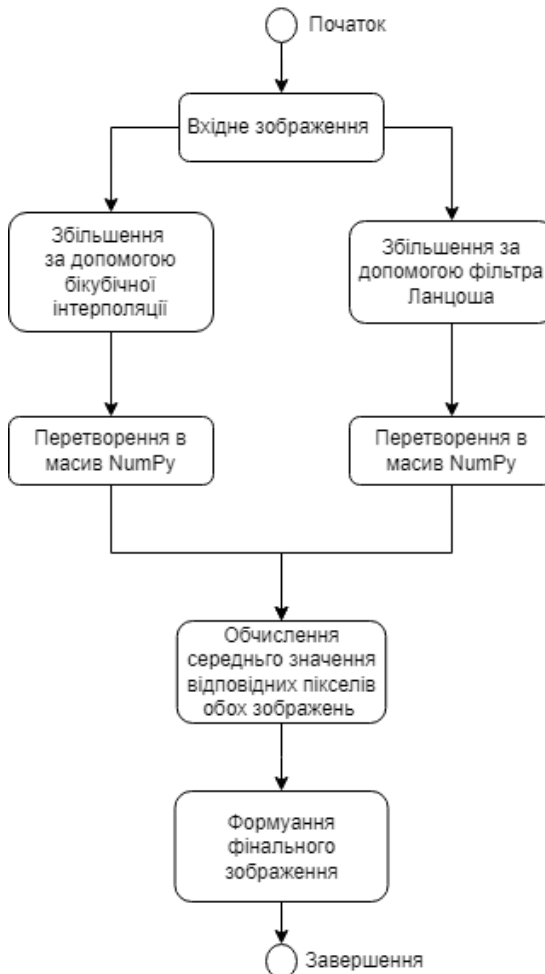


Рис. 9. Діаграма дії

Результати експериментальних досліджень. Для оцінки метода беремо оригінальне зображення (рис. 10) розміром 5184x3456 та зменшуємо його у 2, 4 та 8 разів (2592x1728, 1296x864 та 648x432 відповідно).



Рис. 10. Оригінальне зображення

Далі, використовуючи класичні методи білінійної, бікубічної інтерполяції та інтерполяцією методом найближчого сусіда, а також нашим комбінованим методом, збільшуємо зменшені версії до оригінального розміру. Як показники ефективності, фіксуємо час виконання операції, а також показник PSNR або співвідношення пікового рівня сигналу до шуму. Отримані результати представленні у таблиці 1, таблиці 2, таблиці 3 та таблиці 4.

Таблиця 1

Результати бікубічної інтерполяції

	x2	x4	x8
Час виконання, с	0.15	0.13	0.11
PSNR, дБ	41.95	40.28	36.73

Таблиця 2

Результати білінійної інтерполяції

	x2	x4	x8
Час виконання, с	0.09	0.07	0.06
PSNR, дБ	41.84	38.62	35.86

Таблиця 3

Результати методу найближчого сусіда

	x2	x4	x8
Час виконання, с	0.03	0.02	0.02
PSNR, дБ	41.73	34.86	34.84

Таблиця 4

Результати комбінованого методу

	x2	x4	x8
Час виконання, с	0.94	0.90	0.88
PSNR, дБ	42.12 dB	40.30	36.83

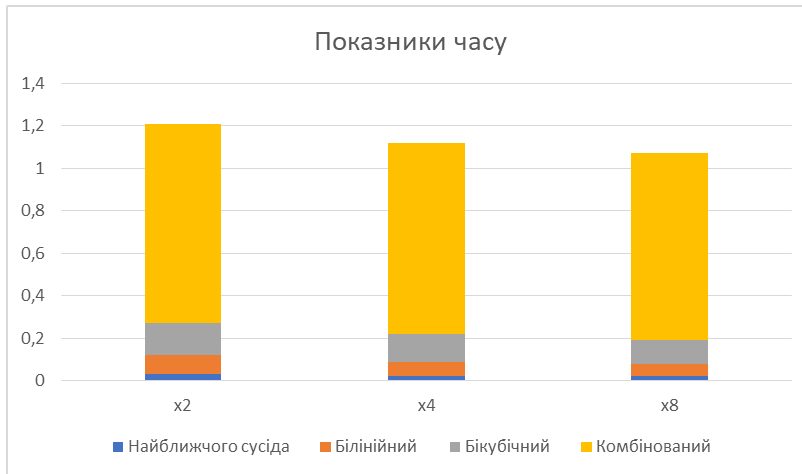


Рис. 11. Показники часу роботи алгоритмів

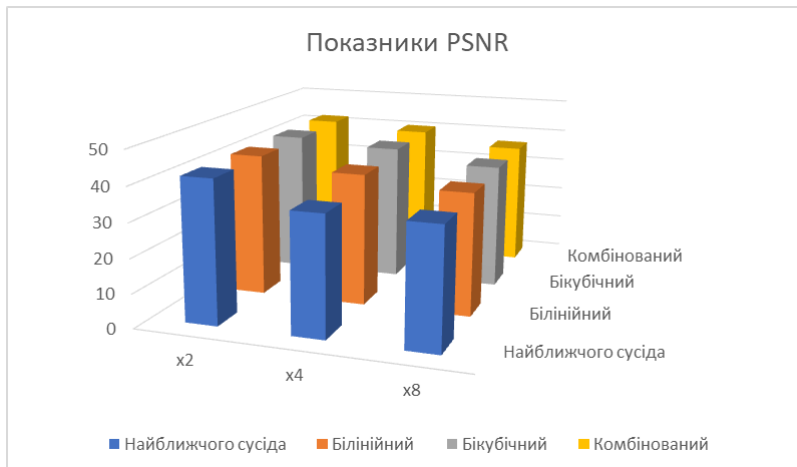


Рис. 12. Показники PSNR роботи алгоритмів

Висновки. Проаналізовано та перевірено ефективність комбінованого методу збільшення зображень, який базується на використанні бікубічної інтерполяції та методу Ланцоша. Для оцінки ефективності методу проведено порівняльний аналіз з класичними алгоритмами білінійної та бікубічної інтерполяції, також інтерполяції методом найближчого сусіда. Результати показали, що комбінований метод демонструє вищу якість збільшення, що підтверджується значеннями PSNR 42.12 дБ, 40.30 дБ та 36.83 дБ для збільшення у 2, 4 та 8 разів відповідно. Ці показники перевищують результати, отримані за допомогою бікубічної та білінійної інтерполяцій, а також методу найближчого сусіда.

Значення часу виконання для комбінованого підходу також є важливим аспектом. Хоча ця методологія вимагає більше часу порівняно з іншими розглянутими методами, він випереджає інші алгоритми в плані кінцевої якості. Це свідчить про те, що комбінований метод є ефективним рішенням для задач, де якість

зображення є пріоритетною. Таким чином, цей метод може бути рекомендований для застосувань, де необхідно досягти високої якості зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бодашевський Д. Р., Потапова К. Р. Роздільна здатність та підвищення якості зображень у реальному часі: сучасні підходи до апскейлінгу // Наукові дослідження в сучасному світі. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Ідеальне видавництво. Торонто, Канада. 2023. Стор. 79–81. URL: <https://sci-conf.com.ua/ix-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-research-in-the-modern-world-28-30-06-2023-toronto-kanada-arhiv/>.

2. Бодашевський Д. Р., Потапова К. Р. Сучасні методи масштабування зображень в реальному часі: підвищення роздільної здатності та якості // Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2023. Рр. 21–27. URL: <https://sci-conf.com.ua/ix-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-8-10-06-2023-osaka-yaponiya-arhiv/>.

3. Бодашевський Д. Р., Потапова К. Р. Аналіз принципів підвищення якості зображень через призму бікубічної інтерполяції та згорткових нейронних мереж // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2023. № 15. URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-15-9156>

4. Ван Сен, Ян Кецянь. "Алгоритм масштабування зображень на основі білінійної інтерполяції за допомогою VC++". Журнал методів автоматизації та обчислювальної техніки, 2008. Р. 44–45.

5. Турковскі, Кен; Габріель, Стів (1990). "Фільтри для поширених задач перидискретизації". В Гласснер, Ендрю С. (ред.). Graphics Gems I. Academic Press. С. 147–165.

6. Бургер, Вільгельм; Бург, Марк Дж. (2009). Принципи цифрової обробки зображень: основні алгоритми. Springer. С. 231–232.

7. Дяньюань Хан "Порівняння загальноживаних методів інтерполяції зображень", кафедра комп'ютерної інженерії Університету Вей Фан, провінція Шаньдун // 2-а Міжнародна конференція з комп'ютерних наук та електронної інженерії (ICCSEE 2013). Китай. 2013.

8. Венчже Ши, Хосе Кабальєро, Ференц Гусар, Йоганнес Тоц, Ендрю П. Ейткен, Роб Бішоп, Даніель Рюкерт, Зехан Ван; Матеріали конференції IEEE з комп'ютерного зору та розпізнавання образів (CVPR). 2016. С. 1874–1883.

REFERENCES:

1. Bodashevskiy D. R., Potapova K. R. (2023) Resolution and quality enhancement of images in real time: modern approaches to upscaling. Proceedings of the Scientific research in the modern world: 9th International scientific and practical conference. (Canada, Toronto, June 28–30, 2013) ,Toronto: Perfect Publishing, pp. 79–81.

2. Bodashevskiy D.R., Potapova K.R. (2023) Suchasni metody masshtabuvannya zobrazhen v realnomu chasi: pidvyshchennia rozdilnoi zdatnosti ta yakosti [Modern methods of scaling images in real time: increasing resolution and quality]. Proceedings of the Science and technology: problems, prospects and innovations: 9th International scientific and practical conference. (Osaka, Japan, June 8–10, 2023), Osaka: CPN Publishing Group, pp. 21–27.

3. Bodashevskiy D.R., Potapova K.R. (2023) Analiz pryntsypiv pidvyshchennia yakosti zobrazhen cherez pryzmu bikubichnoi interpoliatsii ta zghortkovykh neironnykh merezh [Analysis of the principles of improving the quality of images through the prism of bicubic interpolation and convolutional neural networks]. Internauka (electronic

journal), vol. 149, no. 15, pp. 48–53. Retrieved from: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-15-9156> (accessed 10 October 2023).

4. Wang Sen, Yang Kejian. (2008) “An image scaling algorithm based on bilinear interpolation with VC++”. *Journal of Techniques of Automation & Applications*, P. 44–45.

5. Turkowski, Ken; Gabriel, Steve (1990). "Filters for Common Resampling Tasks". In Glassner, Andrew S. (ed.). *Graphics Gems I*. Academic Press. pp. 147–165.

6. Burger, Wilhelm; Burge, Mark J. (2009). *Principles of digital image processing: core algorithms*. Springer. pp. 231–232.

7. Dianyuan Han (2013) «Comparison of Commonly Used Image Interpolation Methods» Dept. of Computer Engineering Wei Fang University Shandong. 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013). China.

8. Wenzhe Shi, Jose Caballero, Ferenc Huszar, Johannes Totz, Andrew P. Aitken, Rob Bishop, Daniel Rueckert, Zehan Wang (2016) Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Pp. 1874–1883.

УДК 378:004

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.2>

ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОЇ КОМУНІКАЦІЇ ОСВІТЬОГО ПРОЦЕСУ

Вдовичин Т. Я. – кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри фізики та інформаційних систем

Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

ORCID ID: 0000-0002-7605-3833

Білий Р. Т. – викладач кафедри фізики та інформаційних систем

Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

ORCID ID: 0009-0000-6659-4049

У статті наголошено на важливості організації ефективної комунікації та зворотного зв'язку у освітньому процесі. Зворотний зв'язок ("feedback") є основою навчання, адже він дає уявлення про те, як проходить освітній процес, інформує про досягнення та результати, а також виявляє проблеми. Заклад освіти визначає формат колективної співпраці, можливість поєднання синхронного та асинхронного режимів для різних учасників чи в певних обставинах, гнучкість процесу навчання для формування індивідуальної освітньої траєкторії як для тих, хто навчає, так і для тих, хто навчається. Тому у статті обґрунтовано значення і необхідність запровадження до освітнього процесу цифрових інструментів не тільки для навчальних цілей, а й для організації ефективної комунікації. Для реалізації поставленої мети було проведено аналіз аспектів налагодження спілкування в освітньому просторі, а саме форм комунікації, засобів зворотного зв'язку та способів їх використання в освітніх цілях на прикладі освітніх платформ, месенджерів, соціальних мереж тощо. У статті проаналізовано використання таких цифрових інструментів для налагодження якісної комунікації як платформи Seesaw та Wekelet, онлайн-інструменту MentiMeter, національної онлайн платформи Всеосвіта.

Авторами статті зосереджено увагу на цифровому сервісі для організації відеоконференції Google Meet. Також детально описано інструменти для проведення відеозустрічей: налаштування чату, демонстрація емоцій, підключення аудіо та відеозв'язку, долучення користувачів, використання онлайн дощок, відлагодження параметрів конфіденційності тощо. У статті наголошено, що оскільки додатки Google є синхронізовані між собою, то користувач має можливість оперативно отримати доступ до відеоконференції як з різного пристрою з одним і тим же обліковим записом Google, так і з різного сервісу. У роботі досліджено можливість долучення до проведення відеозустрічей онлайн дощок з використанням цифрових інструментів Google Jamboard та додатку Miro як засоби "feedback" для зворотного зв'язку.

Ключові слова: комунікація, зворотний зв'язок, цифрові інструменти, освітній процес.

Vdovychyn T. Ya., Bilyy R. T. Digital tools for organizing effective communication of the educational process

The article emphasizes the importance of organizing effective communication and feedback in the educational process. Feedback is the basis of learning, because it gives an idea of how the educational process is going, informs about achievements and results, and also reveals problems. The educational institution determines the format of collective cooperation, the possibility of combining synchronous and asynchronous modes for different participants or in certain circumstances, the flexibility of the learning process for the formation of an individual educational trajectory for both those who teach and those who study. Therefore, the article substantiates the importance and necessity of introducing digital tools into the educational process not only for educational purposes, but also for the organization of effective communication. To realize the goal, an analysis of the aspects of establishing communication in the educational space was carried out, namely, forms of communication, means of feedback and ways of using them for educational purposes, using the example of educational platforms, messengers, social networks, etc. The article analyzes the use of such digital tools for establishing high-quality

communication as the Seesaw and Wekelet platforms, the MentiMeter online tool, and the national online platform Vseosvit.

The authors of the article focused on the digital service for organizing Google Meet video conferences. Tools for conducting video meetings are also described in detail: chat settings, display of emotions, connecting audio and video, adding users, using online boards, debugging privacy settings, etc. The article emphasizes that since Google applications are synchronized with each other, the user has the opportunity to quickly access the video conference both from different devices with the same Google account and from different services. The paper explores the possibility of adding online boards to video meetings using Google Jamboard digital tools and the Miro application as "feedback" tools

Key words: *communication, feedback, digital tools, educational process.*

Постановка проблеми. Інформатизація освітнього процесу розвивається стрімко, а використання цифрових інструментів дозволяє підвищити його ефективність та результативність, сприяє розвитку мислення, формуванню знань, самодисципліні, самооцінці, системному аналізу отриманої інформації для його учасників. Як наслідок, практичне застосування цифрових інструментів приводить до індивідуалізації та диференціації навчального процесу, забезпечує інтерактивність, дозволяє отримати навички самонавчання та самодисципліни.

Для організації освітнього процесу надзвичайно важливою є ефективна комунікація. Формами комунікації є спілкування чи бесіда, під час якої всі учасники висловлюють думки, слухають аргументи один одного та роблять певні висновки.

У сучасному суспільстві з численними викликами та кризами (епідемії, війни, карантинні обмеження), ефективну комунікацію слід розглядати під час дистанційного та змішаного навчання. Тобто учасникам освітнього процесу при налагодженні комунікації слід націлюватися про донесення інформації від того, хто навчає для тих, хто навчається.

Значний вплив на ефективність освітнього процесу має також зворотний зв'язок між усіма учасниками освітнього процесу щодо навчальних досягнень у контексті попередньо визначених очікуваних результатів. Серед професійних спільнот часто для означення зворотного зв'язку використовується англійське слово "feedback". Зворотний зв'язок є основою навчання, адже він дає уявлення про те, як проходить освітній процес, інформує про досягнення та результати, а також виявляє проблеми.

Сьогодні існує велика кількість цифрових засобів для реалізації налагодження ефективної комунікації освітнього процесу, застосування яких популяризує навчальний контент, сприяє більш глибокому засвоєнню знань.

Якщо проаналізувати початок карантину, який пов'язаний з Covid-19, то освітній процес переважно реалізовувався з використанням месенджерів (Viber, Telegram, Hangout, Facebook Messenger), які дозволяли лише оперативно передати навчальну інформацію (рис. 1).

Дані цифрові інструменти не є навчальними платформами, через які можна навчати. Вони встановлюються на мобільні телефони або на персональні комп'ютери і використовуються переважно для спілкування. Найкраще з такими операціями справляється Telegram, адже дозволяє прикріплювати документи будь-якого формату. Hangout – це чат для спілкування, аналогічно як і Viber, які можуть служити надійними помічниками в організації віртуального простору. З допомогою Viber чи Telegram, можна оцінювати без оцінок і давати фідбек, а також виконувати разом творчі завдання. Ці додатки користуються популярністю серед молоді, у які вони заходять із такою ж регулярністю, як і в Instagram. Також слід згадати

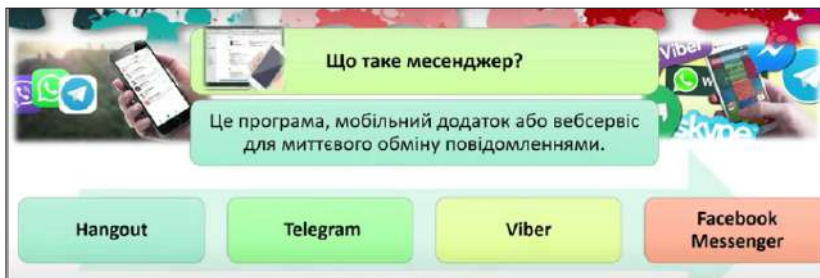


Рис. 1. Призначення месенджерів

про Messenger від соціальної мережі Facebook, який теж має велику аудиторію користувачів, у переважній більшості серед вчителів, батьків, а також учнів.

Аналізуючи виклики у сучасному суспільстві, урізноманітнюється і підбір освітніх цифрових інструментів, які використовуються для налагодження ефективної комунікації. Створено освітні платформи, які дозволяють відбуватися освітньому процесу повноцінно як у звичних умовах, так і в дистанційному чи змішаному форматі у періоди глобальних викликів (не тільки карантинних обмежень, а й повномасштабного вторгнення росії на територію України). Такі ресурси надають можливість повноцінного доступу до навчального контенту у зручний час та в безпечному місці. Вибір інструментів для реалізації навчальних завдань здійснюється як закладами освіти, так і безпосередньо педагогами чи учнями, залежно від рівня сформованості цифрової компетентності. Головним завданням у цьому процесі є налагодження ефективної комунікації усіх учасників освітнього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання цифрових інструментів у освітньому процесі досліджено авторами: Спирін О., Морзе Н., Яцишин А., Губеладзе І., Глазунова О., Кузьмінська О. тощо. Інформаційно-цифрове середовище для закладів освіти висвітлено у працях Вакалюк Т., Шишкіна М., Попель М., Гуревич Р., Лазаренко Н., Овчарук О., Пінчук О., Іванюк І. та інші.

Різні автори досліджували цифрові інструменти, які підвищують ефективність освітнього процесу. Наприклад, Гайтан О. [2] здійснила порівняльний аналіз можливостей використання засобів для відеоконференцій в онлайн-навчанні. Ісаєва О., Шайнер Г. та Розман І. досліджували інноваційні підходи у освітньому процесі з використанням кейс-технологій. Наливайко О, Прокопенко А., Кабусь Н. та інші проаналізували проєктно-цифрову діяльність як засіб формування цифрової компетентності учасників освітнього процесу.

Постановка завдання – застосування цифрових інструментів для налагодження ефективної комунікації учасників освітнього процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліджуючи проблему вибору цифрових інструментів для оперативного зворотного зв'язку та підтримки освітнього процесу, можна побачити їх велику кількість. Зокрема, наприклад, платформа Seesaw, що дозволяє бачити усі етапи роботи та прогресу учнів, «об'єднує в одному місці високоякісні інструкції, автентичне оцінювання, яке сприяє глибокому навчанню, і інклюзивне спілкування» [1].

MentiMeter – це онлайн-інструмент для створення інтерактивних презентацій, завдяки яким урок перетворюється в діалог з учнями, а також дозволяє провести опитування, голосування та вікторину в режимі реального часу. Сервіс можна

використовувати на тренінгу, уроці, педраді, під час публічних виступів для інтерактивної взаємодії з аудиторією. Голосування проводяться в режимі реального часу, що дозволяє отримувати моментальний зворотний зв'язок від аудиторії [2].

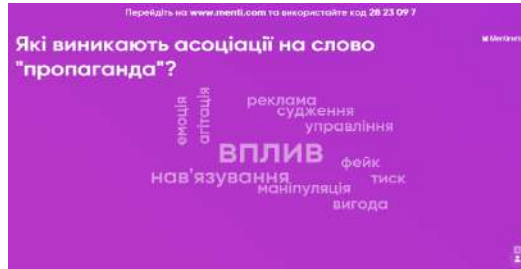


Рис. 2. Реалізація хмари слів у сервісі MentiMeter

Платформа Wekelet дозволяє створювати цілі плани уроків, інтерактивних плакатів, бібліотек, зберігаючи усі потрібні посилання в одному місці. Сервіс призначений для створення підбірок файлів, зображень, гіперпосилань, відеофільмів, адже кожна колекція – це аналог онлайн-папки, у якій зберігається пов'язаний контент [3].

Всеосвіта національна онлайн платформа для освітян, де об'єднані різноманітні сервіси дистанційного навчання як для обміну педагогічним досвідом, так і для можливостей використання у освітньому процесі цифрових інструментів для конструювання занять чи завдань, організації навчального процесу та підтримки саморозвитку його учасників [4].

Популярними в освітньому процесі залишаються сервіси Google, на використання яких спрямована також і державна підтримка. Сервіси Google можна активно «використовувати для інтерактивного спілкування (електронна пошта, онлайн-спільноти, колективні сховища знань) та спільного використання онлайн-нових додатків (календар, веб-конференції, спільна робота з документами)» [5].

Для організації ефективної комунікації доцільно використовувати такий сервіс Google як Блог, який можна представити і як віртуальну дошку оголошень, а також розміщувати навчальні матеріали та різноманітні завдання (рис. 3).

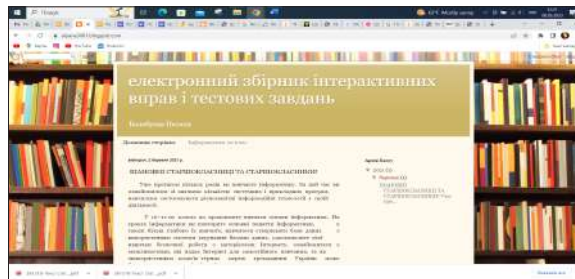


Рис. 3. Приклад блогу від Google

Налагодження якісної комунікації в освітньому процесі можливе з використання засобів для проведення відеоконференцій, що дозволяють підтримувати процес навчання у стані «реальності», спілкуватися та обмінюватися інформацією, а також отримувати миттєвий feedback, який так необхідний для всіх залучених учасників.

Ефективна комунікація з використанням цифрових інструментів Google можлива з таким інструментом для проведення відеозустрічей як Google Meet (раніше відомий як Hangouts Meet). «У березні 2020 року через пандемію COVID-19 Google оголосив про надання безкоштовного доступу до Google Meet. Це призвело до зростання кількості користувачів Google Meet у 30 разів у період з січня по квітень 2020 року, яке досягло позначки 100 мільйонів користувачів на день (порівняно з 200 мільйонами на день для Zoom станом на кінець квітня 2020 року)» [2].

Google Meet дозволяє: налаштування чату, демонстрація емоцій, підключення аудіо та відеозв'язку, долучення користувачів, застосування онлайн дощок, відлагодження параметрів конфіденційності тощо. Якщо користувачі входять до Google Meet за допомогою персонального облікового запису, то можуть запрошувати до 100 учасників на відеоконференцію. Якщо користувачі входять до Google Meet за допомогою облікового запису, наданого компанією або навчальним закладом (корпоративний), то кількість учасників може сягати до 250 осіб.

Що стосується підключення користувачів до зустрічі, то варто наголосити на чотири можливості: з поштового серверу Gmail, з Календаря, з самого вікна Google Meet, а також з мобільного пристрою (рис. 4). Google Meet має повноцінну мобільну версію.

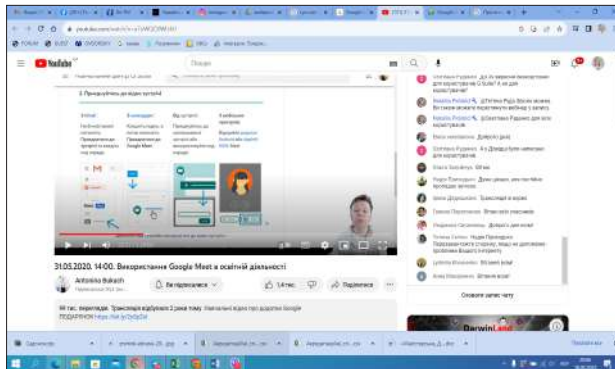


Рис. 4. Можливості підключення користувачів до зустрічі у Google Meet

У Google Meet є можливість долучення до проведення відеозустрічей онлайн дощок, що дозволяє ефективніше налаштувати міжособистісну комунікацію. Якщо користувач використовує корпоративний обліковий запис, то є можливість використовувати Google Jamboard, якщо обліковий запис приватний, то додаток Miro.

Якщо підключається додаток Google Jamboard під час зустрічі, то це дозволяє працювати над ідеями разом, візуалізувати їх. Дощку можна створити або використати наявну на Диску. Якщо обрати Створити дошку, то у новій вкладці відкривається вікно Google Jamboard з назвою дати конференції, де можна демонструвати матеріал в режимі реального часу з інструментами додатку. Все, що демонструється на онлайн дошці, можна завантажити як файл pdf-формату, зберегти фрейм як зображення, скопіювати його чи вилучити. Також створеним фреймом можна поділитися з іншими користувачами.

Щоб продемонструвати учасникам онлайн дошку Jamboard, слід у додатку вибрати піктограму Meet та обрати функцію «Почати презентацію лише цієї»

вкладки» (рис. 5). Якщо обрати «Перенести виклик сюди», то модератор зустрічі зможе працювати паралельно у двох вікнах, але додаток Jamboard учасники зустрічі не побачать. Щоб їм продемонструвати онлайн дошку, то слід обрати внизу вікна кнопку «Розпочати презентацію зараз».

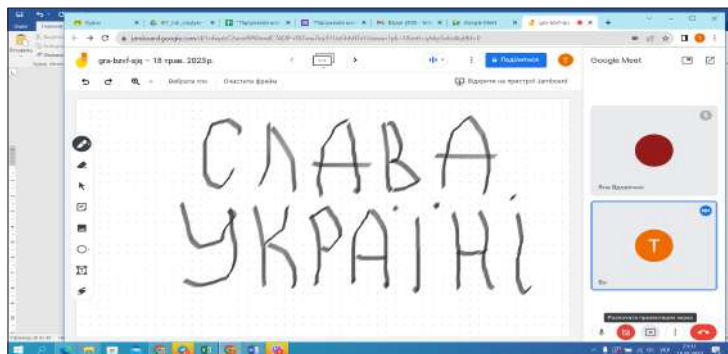


Рис. 5. Додаток Google Jamboard у Google Meet

Якщо користувач використовує приватний обліковий запис, то є можливість використовувати дошку з інструментами і шаблонами від Miro. Користувач на зустрічі має можливість як створити та презентувати нову дошку в онлайн режимі, так і використати уже існуючу. Якщо вибрати нову дошку, то відкривається вікно Miro з повним набором різноманітних інструментів для взаємної комунікації користувачів (рис. 6). Підтримка комунікації користувачів під час відеотрансляції з використанням додатку Miro дозволяє обмінюватися емоціями та тим самим підтримувати позитивний настрій зустрічі. Якщо потрібно транслювати екран електронної дошки Miro, то аналогічно у правому куті налаштувань додатку Google Meet у відкритому вікні Miro обрати «Презентувати екран» та потрібну вкладку.

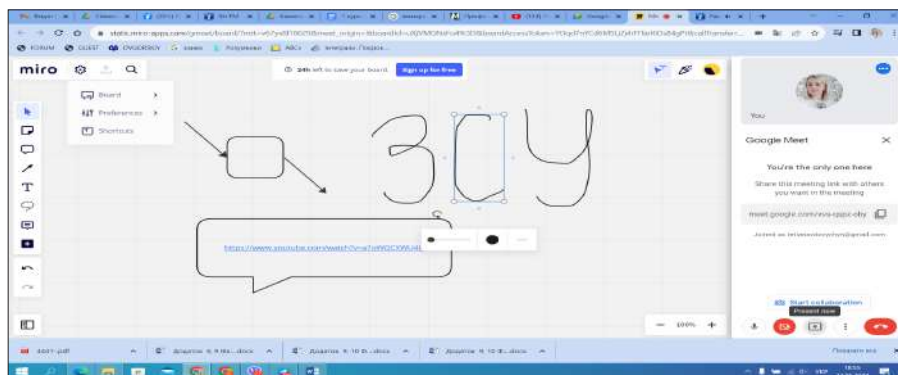


Рис. 6. Додаток Miro у Google Meet

Оскільки додатки Google є синхронізовані між собою, то користувач має можливість поєднувати Google Meet як з Календарем, так і з Classroom, Gmail тощо. Це дозволяє оперативнo отримати доступ до відеоконференції як з різного пристрою з одним і тим же обліковим записом Google, так і з різного сервісу.

Важливу роль в освітньому процесі відіграє додаток Classroom, який має повністю налаштоване освітнє середовище з методичними та інструктивними матеріалами, так і можливість одразу здійснювати відеозв'язок, не застосовуючи інші месенджери чи засоби "feedback" для зворотного зв'язку.

Модератором зустрічі у Google Meet може бути будь-який зареєстрований користувач з персональним обліковим записом. Якщо обліковий запис є корпоративний, то налаштування зустрічі з додатком Google Meet переходить до адміністратора системи від навчального закладу, який може визначати можливості користувачів при підключенні до зустрічі. «Будь-який користувач може закріпити, вимкнути звук або видалити учасників. З міркувань конфіденційності не можна вимкнути звук в іншого користувача, можливо лише попросити його про це. У навчальних облікових записах лише організатор зустрічі може вимкнути звук або видалити інших користувачів» [6].

Отже, використання Google Meet для організації ефективної комунікації у процесі навчання безпосередньо пов'язаний з налаштуванням облікового запису Google, а також має певні відмінності у проведенні конференції у приватному та корпоративному обліковому записі. Інструменти для проведення відеозустрічей, підключення онлайн дощок, відлагодження параметрів конфіденційності та зворотного зв'язку дозволяють підвищити якість освітнього процесу. Що стосується підключення користувачів до зустрічі, то існують чотири можливості: з поштового серверу Gmail, з Календаря, з самого вікна Google Meet, а також з мобільного пристрою.

Висновок. Жива комунікація для навчального процесу є завжди актуальна. Справді, важко оцінити роль живого спілкування та взаємодії для кожного учасника: як тих, хто навчає, так і тих, хто навчається. Якщо ж у освітньому процесі гармонійно поєднуються традиційні методи навчання з інноваційними, а особливо їх комбінація у змішаному форматі, то питання налагодження комунікації учасників є дуже важливим. А ще більш ця проблема стає актуальною у часи глобальних викликів розвитку суспільства (епідемій, війн, карантинів тощо).

Використання цифрових інструментів для освітніх цілей дозволяє забезпечити не тільки якісне засвоєння навчального матеріалу, але й оптимізувати навантаження, урізноманітнювати способи досягнення навчальних цілей та налагодити міжособистісну комунікацію учасників.

Сьогодні є велика кількість цифрових інструментів, які призначені для організації комунікації учасників освітнього процесу, кожен з яких має певні переваги чи недоліки у експлуатації, набір функціональних можливостей та власну користувачську аудиторію. Прикладом сервісів, які призначені для проведення відеоконференцій є платформи Zoom, Google Meet та Microsoft Teams. Зокрема, Google Meet дозволяє підключати користувачів, використовуючи як приватний, так і корпоративний аккаунт, використовувати чат для обміну повідомленнями, персонально налаштувати як правила зустрічі, так і власну конфіденційність. У Google Meet можливе використання онлайн дощок, а саме Google Jamboard, якщо обліковий запис є корпоративний та додаток Miro, якщо обліковий запис приватний.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Буртовий С.В. Хмарні технології в освіті: Microsoft, Google, IBM. Електронний ресурс. Доступно: <http://oin.in.ua/osvitni-hmarymicrosoft-google-ibm-suchasni-instrumenty-formuvannya-osvitnoho-seredovyschanavchalno-doslidnytskoji-diyalnosti-ditej/>

2. Хайтан О.М. Порівняльний аналіз можливостей використання інструментарів платформ на основі вебінарів ZOOM, GOOGLE MEET та MICROSOFT TEAMS в онлайн навчанні. *ITLT*, 2022. № 87, вип. 1, 33–67.

3. Генсерук Г., Бойко М., Мартинюк С. Цифрові інструменти комунікації в освітньому процесі закладу вищої освіти. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка, 1(1), 2022. 31–39. Доступно: <https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.1.4>

4. Електронний ресурс. Доступно: <https://web.seesaw.me/>

5. Електронний ресурс. Доступно: <https://www.mentimeter.com/>

6. Електронний ресурс. Доступно: <https://wakelet.com/>

7. Електронний ресурс. Доступно: <https://vseosvita.ua/>

REFERENCES:

1. Burtovy, S.V. Cloud technologies in education: Microsoft, Google, IBM. Available: <http://oin.in.ua/osvitni-hmarymicrosoft-google-ibm-suchasni-instrumenty-formuvannya-osvitnoho-seredovyschanavchalno-doslidnytskoji-diyalnosti-ditej/> [in Ukrainian].

2. Khaitan, O.M. (2022). Comparative analysis of the possibilities of using platform tools based on ZOOM, GOOGLE MEET and MICROSOFT TEAMS webinars in online education. *ITLT*, No. 87 [in Ukrainian].

3. Genseruk, H., Boyko, M., Martynyuk, S. (2022). Digital tools of communication in the educational process of a higher education institution. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk*. Series: pedagogy, 1(1), 2022. [in Ukrainian].

4. Electronic resource. Available: <https://web.seesaw.me/> [in Ukrainian].

5. Electronic resource. Available: <https://www.mentimeter.com/> [in Ukrainian].

6. Electronic resource. Available: <https://wakelet.com/> [in Ukrainian].

7. Electronic resource. Available: <https://vseosvita.ua/> [in Ukrainian].

УДК 378.046

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.3>

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІОТ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Зайцев Є. О. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Інституту електродинаміки Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0003-3303-471X

Березниченко В. О. – Ph.D., науковий співробітник
Інституту електродинаміки Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0002-9961-1703

Панчик М. В. – Ph.D., провідний інженер
Інституту електродинаміки Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0003-3633-2632

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

Тонких О. Г. – кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту підприємств
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-7823-4761

У статті показано, можливості та переваги використання технології Інтернету речей для електропостачання підприємств. Наведено інфраструктуру мережі побудовану у відповідності з основними положеннями концепції мереж Smart Grid на основі компонентів такої структури заснованих на технології Internet of Things (IoT), які полягають на міжмашинній взаємодії та телеуправлінні можуть використовуватися в галузі для побудови «розумних» мереж. Показано, що впровадження концептуальних рішень основаних на технології IoT дозволяють інтегрувати інформаційні дані та додатки на основі IoT у структуру енергетичних об'єктів. При цьому енергетичний сектор робить крок вперед щодо моніторингу енергоресурсів в реальному часі. Зазначено, що енергетичні мікрогрид мережі промислових підприємств, які побудовані із застосування IoT технологій дозволяють аналізувати наявні данні з метою забезпечення зниження споживання енергії, систематизувати великі об'єми даних та збільшити ефективність роботи енергообладнання. Це дозволяє промислому підприємству переходити від моделі класичного споживача до проактивного споживача, який ефективно інтегрує ресурси своєї енергетичної та комунікаційної інфраструктури в загальну енергетичну систему сприяючи переходу від традиційної мережі розподілу та споживання електроенергії до цифрових розумних електромереж. Розумні електромережі із широкою інтеграцією IoT технологій в своїй структурі є найкращою альтернативою звичайним енергосистемам. Однак для того, щоб зробити ці мережі більш економічними та стабільними, потрібні ефективні методи та інструменти управління енергією. Розробка та впровадження, яких дозволить контролювати енергоспоживання, стан компонентів енергомережі та створювати розумну структуру енергетичного ринку. Проаналізовано та наведено умови для

створення глобального середовища із енергоефективними системами електропостачання промислових підприємств на базі технологій IoT.

Ключові слова: цифрові технології, інтернет речей, IoT, розподільні мережі, електрична енергія, мікрогрід, проактивні споживачі, розумні підприємства.

Zaitsev Ie. O., Bereznychenko V. O., Panchik M. V., Antonenko A. V., Tonkykh O. H. Implementation of IOT technologies in power supply systems of industrial enterprises

In paper was shows that the use of Internet of Things(IoT) technology in the energy sector provides enormous opportunities and advantages. The infrastructure of a smart grid network built in accordance with the main provisions of the concept of Smart Grid networks presented. Shown that the components of such a structure based on the IoT technology, which consist of machine-to-machine interaction and remote control used in the industry to build "smart" networks. Shown that the implementation of conceptual solutions based on the IoT technology allows the integration of information data and applications based on the IoT into the structure of energy facilities. At the same time, the energy sector is taking a step forward in terms of monitoring energy resources in real time. It is noted that energy microgrids of networks of industrial enterprises, which built using IoT technologies, allow analyzing available data in order to ensure a reduction in energy consumption, systematize large volumes of data and increase the efficiency of power equipment. This allows the industrial enterprise to move from the model of a classic consumer to a proactive consumer, which effectively integrates the resources of its energy and communication infrastructure into the overall energy system, facilitating the transition from the traditional network of distribution and consumption of electricity to digital smart grids. Smart power grids with extensive integration of IoT technologies in their structure are the best alternative to conventional energy systems. However, effective energy management methods and tools needed to make these networks more economical and stable. Development and implementation that will allow monitoring energy consumption, the state of energy network components and create a reasonable structure of the energy market. Analyzed conditions for creating a global environment with energy-efficient power supply systems for industrial enterprises based on IoT technologies.

Key words: digital technologies, Internet of Things, IoT, distribution networks, electric energy, microgrid, prosumer, smart enterprises.

Вступ. Забезпечення стабільної та ефективної роботи систем електропостачання промислових підприємств будь-якого типу значною мірою залежить від стабільної та безперебійної роботи енергетичного обладнання, яке використовується для виробництва, передавання та розподілу електричної енергії. Моніторинг енергоспоживання, контроль технічної справності обладнання, запобігання аварійним ситуаціям в енергомережах та тощо – це лише декілька з можливостей, які дозволяє забезпечити впровадження технології Інтернету речей в структуру енергетичної мережі. У зв'язку з чим на сьогоднішній день, впровадження технологій Internet of Things (IoT) є пріоритетним напрямком розвитку систем електропостачання промислових підприємств.

Постановка проблеми. За даними статистики, кількість підключених до Інтернету речей пристроїв до 2025 року зросте до 21,5 мільярда, що свідчить про значний розвиток технологій IoT [1–3]. Застосування IoT в системах електропостачання промислових підприємств може підвищити якість обслуговування та забезпечити більш комфортні умови для споживачів, операторів та виробників електроенергії [4]. Зокрема, IoT може бути використаний для автоматизації процесів, дистанційного керування й контролю за станом обладнання, підвищення ефективності роботи персоналу, контролю якості послуг, зниження витрат на енергоспоживання, а також для забезпечення безпеки та конфіденційності даних [5–10].

Незважаючи на розпочату реформу широкого використання інформаційних систем та широкого використання інноваційних технологій впровадження IoT в системи електропостачання промислових підприємств стикається з рядом проблем, таких як складність інтеграції з існуючими системами, забезпечення безпеки

даних, ризики від збоїв в системі та інші. Тому вище наведене обумовлює актуальність аналізу різних аспектів впливу технології IoT на розвиток систем електропостачання промислових підприємств.

Мета дослідження. Метою роботи є стан впровадження технології IoT в мікрогрід мережах систем електропостачання промислових підприємств.

Об'єкт дослідження процес вивчення впливу технології Інтернету речей (IoT) на електропостачання промислових підприємств.

Предмет дослідження технології Інтернету речей (IoT).

Методами дослідження є методи аналізу, які використовуються під час проведення досліджень можливості застосування технологій Інтернету речей (IoT), його функцій, можливостей і переваг задля забезпечення побудови мікрогрід мереж систем

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями застосування технології IoT висвітлено на сторінках праць багатьох вчених із різних сфер людської діяльності, так праці Г.В. Антонова, А.В. Кедич, О.В. Ковирьова присвячені питанням впливу Інтернету речей на сучасне землеробство [10], О.А. Баранова на сферу охорони здоров'я, сільського господарства, транспорту [11, 12, 13], А.П. Гненного, Ю.Г. Гордієнко на функціонування промислових підприємств [10], В.І. Журавель, Т.Ю. Ткачука, Д.С. Борковського на медичну сферу [14, 15], К. Коцюбівської, В. Прісич, О. Яворського на забезпечення функціонування та розвиток сучасних Розумних міст [16, 17], Кириленко О.В., Блінов І.В., Денисюк С.П., Журавська І.М. на електроенергетику [18, 19] та інших. Незважаючи на масштабність наукових досліджень та публікацій, як вітчизняних науковців так і закордонних, питанням впливу впровадження технологій Інтернету речей (IoT) в системах електропостачання промислових підприємств приділено не достатню увагу і їх вивчення та систематизація наявного матеріалу потребує проведення подальших детальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технології Internet of Things засновані на міжмашинній взаємодії та телеуправлінні, тому можуть використовуватися в галузі для побудови «розумних» мереж та інфраструктури у відповідності із основними положеннями концепції мереж Smart Grid (рис. 1), основною метою якої є підвищення рівня моніторингу та керування всією енергетичною



Рис. 1. Інфраструктура Smart Grid

системою [4]. На рис. 1 наведено типову інфраструктуру Smart Grid мережі реалізовану за допомогою сенсорів, підключених до загального хмарного або online-сервісу, що дозволяє забезпечити дотримання єдиних вимог щодо інформаційного обміну та комунікацій на всіх ієрархічних рівнях енергосистеми [3].

На першому рівні інфраструктуру Smart Grid розташовані додаткові пристрої, які збирають дані з навколишнього середовища. Ці пристрої можуть бути сенсорами, які можуть сприймати зміни у навколишньому середовищі, дисплеями, мікроконтролерами, промисловими комп'ютерами тощо. Ця інфраструктура утворює рівень сприйняття. Збирання даних технології сприйняття та ідентифікації є основою Інтернету речей. Сенсорні технології дозволяють контролювати процеси електропостачання в режимі реального часу і полегшують отримання безлічі інформативних параметрів, які дозволяють швидко визначити несправності в мережі та забезпечити їх усунення. Всі пристрої та засоби рівня інфраструктури повинні бути здатні передавати дані по бездротовій мережі до центральної системи збору та аналізу даних.

Другий рівень – це мережевий рівень технологій IoT, який включає провідні та бездротові мережі, які обмінюються даними та зберігають оброблену інформацію або локально, або в централізованому місці, наприклад у хмарному середовищі, що включає в себе великі серверні кластери для зберігання та обробки даних. Хмарне середовище дозволяє зберігати великі обсяги даних, забезпечує їх аналіз та розподіл у реальному часі. Крім того, цей рівень забезпечує безпеку даних, так як інформація може бути зашифрована та збережена у захищених серверних базах даних.

Зв'язок між пристроями та їх компонентами побудованими за технологією IoT може відбуватися на низьких, середніх та високих частотах, причому останні є основним напрямом розвитку Інтернету речей. До них належать технології зв'язку ближньої дії, такі як RFID, бездротові сенсорні мережі, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi та глобальні системи мобільного зв'язку. Надіслані дані зберігаються локально або надсилаються на централізований сервер хмар. Хмарні обчислення для підтримки надання медичних послуг мають багато переваг, оскільки вони повсюдні, гнучкі та масштабуються з точки зору збору, зберігання та передачі даних між пристроями, підключеними до хмари.

Третій рівень – додаткові сервіси, що забезпечують доступ до даних з будь-якого IoT пристрою з підключенням до Інтернету та дозволяють забезпечити швидку інтерпретацію отриманих або необхідних даних. Тобто на цьому рівні відбувається інтерпретація та застосування даних у відповідності до потреб кінцевого споживача, відповідаючи за надання користувачеві конкретної інформації для надання послуг із постачання електроенергії до визначеного споживача. Сервіси цього рівня можуть включати в себе системи аналітики даних, додатки для моніторингу, сервіси сповіщення, системи управління та інші. Вони дозволяють користувачам аналізувати дані, отримувати повідомлення про стан обладнання та приймати рішення на основі аналітики даних.

Всі ці рівні пов'язані між собою та взаємодіють для забезпечення плавного та ефективного функціонування системи IoT.

Загалом Інтернет речей можна описати як глобальну мережу, що включає в себе комп'ютери, сенсори та актуатори, які з'єднуються між собою через інтернет-протокол IP (Internet Protocol).

Створення єдиної мережі «розумних речей» має вирішальне значення для покращення якості життя людей і вносить вагомий вклад у розвиток людської діяльності.

Ці пристрої можуть взаємодіяти один з одним, обмінюючись даними із використанням різних моделей взаємодії, таких як «Річ-Річ» (Thing-Thing), «Річ-Користувач» (Thing-User) та «Річ-веб Об'єкт» (Thing-Web Object).

Розповсюдження розумних пристроїв зробило недоцільним використання традиційної моделі «Клієнт-Сервер» для обміну даними через Інтернет. У зонах з великою кількістю розумних пристроїв часто важко забезпечити швидкі канали з низькою затримкою, а пристрої мають достатньо власної обчислювальної потужності для обробки інформації. У таких умовах концепція «туманних обчислень» (Fog Computing) стає більш підходящою. Мікроконтролери, які об'єднуються в розподілену обчислювальну мережу, здійснюють зберігання та обробку даних, надаючи обчислювальну потужність для вирішення різних задач. Виконані на цьому рівні оброблені дані можуть бути передані до систем хмарних обчислень через спеціалізовані інтерфейси програмування додатків (API), в тому числі залучаючи людські ресурси для подальшої обробки.

Зараз для організації бездротового зв'язку використовують протоколи, розроблені Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), які поділяються на чотири типи:

- персональні WPAN (бездротові мережі особистого доступу);
- локальні WLAN (бездротові локальні мережі);
- міські WMAN (бездротові міські мережі);
- глобальні WWAN (бездротові широкомасштабні мережі).

Утворення мережі мереж, що об'єднує розумні об'єкти за допомогою IP-протоколу, призводить до збору великої кількості телеметричних даних. Визначальну роль при цьому відіграють протоколи прикладного рівня, які працюють поверх мережі. Основне завдання полягає в ідентифікації кожного пристрою, для чого найкраще підходить унікальна IPv6 адреса. Цей ідентифікатор використовується не лише для маршрутизації пакетів, але і для зіставлення з фізичними параметрами пристроїв (такими як mac-адреса, RFID, Electronic Identification (EID), QR-коди тощо). Завдяки унікальному ідентифікатору розумні об'єкти можуть передавати потоки даних зі збираються сенсорів, а також виконувати команди для зміни стану підключених до них пристроїв в залежності від їх конструкції.

Застосування багаторівневої системи, що включає сенсори і контролери, встановлені на вузлах і агрегатах промислового об'єкта, в електроенергетиці дозволить проводити моніторинг поточного стану мережі, зберігати дані на хмарних сервісах, визначати ступінь ризику подальшої експлуатації об'єкта та необхідність втручання ремонтно-сервісних служб. У цьому разі багаторівнева система відображає варіанти сучасних технологій віддаленого доступу до промислового обладнання для об'єктів, що не працюють під управлінням класичних SCADA-систем, та об'єктів з уже впровадженими АСУ ТП, де різні SCADA-системи містять активні компоненти, що реалізують збір даних, зберігання історичних значень, візуалізацію та керування технологічними процесами.

Впровадження технологій IoT в електроенергетику дозволить інтегрувати інформаційні потоки від різних сенсорів з електроенергетичних об'єктів, у тому числі на основі відновлюваних джерел енергії та розподіленої генерації в єдину мережу. При цьому IoT використовується для розробки повністю підключеної та гнучкої системи, яка дозволить аналізуючи наявні дані знизити споживання енергії, систематизувати великі об'єми даних та збільшити ефективність роботи енергообладнання. Інтелектуальні системи моніторингу допомагають швидко виявляти несправності у системах електропостачання промислових підприємств. Це чудово підходить як

для споживачів, так і для виробників електроенергії так і для операторів ринку, оскільки значно знижується небаланс електричної енергії в мережі.

Застосування IoT у секторі електропостачання промислових підприємств дозволяє побудувати а проактивну систему електропостачання із значною часткою в ній проактивних промислових споживачів. Проактивні споживачі (Prosumer) електроенергії – це споживачі, які одночасно споживають та виробляють енергію використовуючи сучасні IoT технології, такі як системи моніторингу та управління споживанням, із гнучким алгоритмом врахування ринкових цін на електроенергію, щодо врахування ефективності виробництва, зберігання та продажу електроенергії [21–23]. На рисунку 2 наведено ключові компоненти проактивного промислового споживача електричної енергії.

На сьогодні в результаті накопиченого досвіду в Україні під час повномасштабного вторгнення агресора (лютий 2022 р.) і чисельних ракетних атак критичної інфраструктури (жовтень 2022 р. – березень 2023 р.) енергетична система країни зазнала значних руйнувань [16]. Разом із розподільчими мережами зруйновані та пошкоджені генеруючі потужності, головним чином, енергоблоків теплових електростанцій все частіше в електроенергетичних системах проактивних промислових споживачів використовуються акумуляторні системи накопичення енергії разом із сонячною фотоелектричною енергією та генераторами в мікромережах промислових об'єктів [25–26]. Це дозволяє полегшити роботу мікромереж промислових об'єктів у режимі поза мережею, забезпечуючи синтетичну інерцію. На додаток до цього, акумуляторні системи накопичення енергії є корисними в енергосистемі для згладжування небалансів попиту та пропозиції, чому перешкоджає переривчастий характер сонячної фотоелектричної енергії або коливання навантажень [26]. Застосування акумуляторні системи накопичення енергії також дозволяє підвищити продуктивність системи з точки зору забезпечення стабільності роботи системи під час підключень електроенергії та відновлення системи під час поставарійних сценаріїв.

Окрім акумуляторні системи накопичення енергії проєктивні промислові споживачі використовують і інші енергоефективні технології, які зменшують загальне споживання енергії. До них належать:

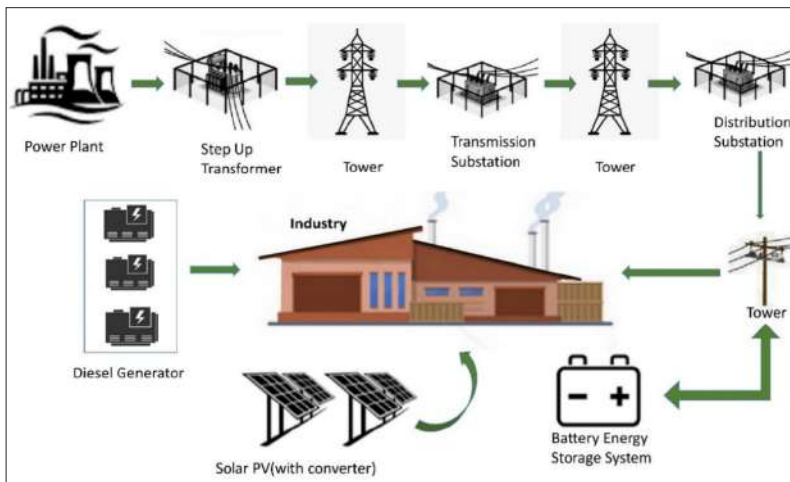


Рис. 2. Інфраструктура енергетичної мережі проактивного споживача

- високоефективна техніка та освітлення реалізована за принципами технологій IoT;
- використання енергоефективних вікон;
- використання можливостей геотермального опалення та охолодження, які використовують теплову енергію землі для ефективного обігріву та охолодження будинку;
- розумний термостат, який підтримує в домі оптимальну температуру;
- теплоелектросистему, яка генерує електроенергію та забезпечує тепло для гарячої води та/або опалення приміщень.

Хоча окреме підприємство, ймовірно може не використовувати всі наведені елементи, але поєднання лише деяких з них значно мінімізує витрати на купівлю енергії, необхідної для задоволення виробничих потреб. Звісно ці зміни не можливі без застосування й додаткових технологічних рішень із пристроями побудованими із застосуванням IoT технологій. До таких пристроїв можна віднести: smart техніку, адаптивне освітлення, електромобілі та тощо.

Використання наведених технологій, заохочують проактивних споживачів залишатися на зв'язку з розподільчою компанією, щоб отримати економічну вигоду від продажу надлишків електроенергії. Задля забезпечення можливості проактивних споживачів є необхідним обладнання свого вузла обліку електроенергії інтелектуальним лічильником і інтелектуальним інвертором, який перетворює вироблену електроенергію або накопичену електроенергію акумуляторів до визначеного в системі розподілу необхідного та якості електроенергію. Засоби обліку та перетворення електроенергії не працюватимуть і не оптимізуватимуться самі по собі, тому для керування усім цим потрібна система управління енергією. Основною метою таких систем є надання зручних засобів для налаштування роботи електроенергетичної мікрогрід мережі підприємства з урахуванням тарифів постачальника енергетичних послуг. Правильна оптимізація налаштувань дозволить забезпечити зменшення рахунку за електроенергію наприкінці кожного місяця.

Звісно, всі наведені технологічні рішення для мікрогрід мереж на базі IoT технологій доступні вже сьогодні. Але для їх повної інтеграції в мікрогрід мережі підприємств необхідна докорінна модернізація енергетичних мереж, яка може бути проведена під час відновлення зруйнованих та пошкоджених сегментів енергетичної мережі.

В зв'язку з цим розробка, удосконалення та впровадження технологій IoT та пристроїв реалізованих на цій технології в мікрогрід мережах систем електропостачання промислових підприємств є одним із пріоритетних напрямів забезпечення енергетичної безпеки та стабільності роботи енергетичної системи, як окремих підприємств так і Об'єднаної енергетичної системи України.

Висновки. Впровадження технологій IoT та засобів реалізованих на їх основі дозволяють створити глобальне середовище із енергоефективними системами електропостачання промислових підприємств, як проактивних споживачів електричної енергії. Для такого впровадження, як показали проведені дослідження потрібне виконання наступних пунктів:

- інтеграція технологій IoT в компоненти та підсистемами мікрогрід мережі підприємств;
- забезпечення стандартизацію протоколів передачі даних мікрогрід мережах між компоненти реалізованими із застосуванням технологій IoT різних виробників, що дозволить забезпечити уніфіковане підключення та зв'язок між підключеними пристроями;

- організувати первинний аналіз даних про умови споживання електроенергії на рівні робочих пристроїв та обладнання;
- розробити програмне забезпечення, за допомогою якого користувачі змогли б отримувати інформацію про результати аналізу даних;
- забезпечити впровадження та розвиток протоколів забезпечення криптографічної безпеки даних та їх конфіденційність, а також забезпечити стійкість самої системи до зовнішніх кібернетичних атак.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Nguyen B., Simkin L. The Internet of Things (IoT) and marketing: the State of play, future trends and the implications for marketing. *Journal of marketing management*, 2017. (33).
2. Pan F., Yang Y., Zhao C., Zhao J., Fan Y., Liu R. Power prosumer internet of things: architecture, applications, and challenges. *Front. Energy Res.* 2022.
3. Da X., Li, Wu H., Shancang Li. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014. (4)
4. Зайцев Є.О., Березниченко В.О. Застосування технології IOT в енергетичній галузі. Збірник матеріалів п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», НУХТ. 2023.
5. Зайцев Є., Березниченко В., Закусило С., Антоненко А. SMART засоби визначення аварійних станів в розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022. (5).
6. Łowczowski K., Olejnik B. Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies* 2022, (15).
7. Roberts J., Altuve H.J., Hou D. Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems; SEL: Pullman, WA, USA. 2005.
8. Welfonder T., Leitloff V., Fenillet R., Vitet S. Location strategies and evaluation of detection algorithms for earth faults in compensated MV distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. vol. 15, 2000. (4).
9. Зайцев Є., Кучанський В., Гунько І. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021.
10. Антонова Г.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Інтернет речей та бездротові смарт-мережі в точному землеробстві. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2019. (18).
11. Баранов О.А. Інтернет речей і охорона здоров'я. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. Харків, 2018. (1).
12. Баранов О.А. Інтернет речей і сільське господарство. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. Харків, 2018. (1).
13. Баранов О.А. Інтернет речей і транспорт. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Харків, 2018. (1).
14. Гненний А.П., Гордієнко Ю.Г. Інтернет речей як головний чинник впровадження ІТ-технологій на сучасному підприємстві. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технол. процесах*. 2018. (1).
15. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи його використання у сільському господарстві України. *Аграрна економіка*. 2018. (11).
16. Журавель В.І., Ткачук Т.Ю., Борковський Д.С. Інтернет речей у системі медичної допомоги: можливості та безпека. *Актуальні проблеми клініч. та профілакт. медицини*. 2019. (1).

17. Коцюбівська К., Прісич В., Яворський О. Впровадження технологій інтернету речей під час створення системи «Розумний дім». Цифрова платформа. Інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2019. (2).

18. Журавська І.М. IoT-мережа на базі Bluetooth-модулів для автоматизованого керування споживанням енергоресурсів. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во. 2018. (30).

19. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Блинов І.В., и др. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы. Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины. 2014.

20. Зайцев Є., Березниченко В., Закусило С., Комісаренко О. Моніторинг та ідентифікація аварійних станів в розподільних електричних мережах SMART міст. Міжнародна конференція Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт. 2022.

21. Al-Turjman F., Abujubbeh M. IoT-Enabled Smart Grid via SM: An Overview. *Future Gener. Comput. Syst.*, 2019. (96).

22. Mazzola, S.; Astolfi, M.; Macchi, E. A Detailed Model for the Optimal Management of a Multigood Microgrid. *Appl. Energy*, 2015. (154).

23. Amad A., Muqet H. A., Khan T., Hussain A., Waseem M., Niazi. K.A.K. IoT-enabled campus prosumer microgrid energy management, architecture, storage technologies, and simulation tools: a comprehensive study, *Energies*, 2023. (4).

24. Кенсіцький О.Г., Левицький А.С., Зайцев Є.О. Відновлення та модернізація турбогенераторів електростанцій України в повоєнний період. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2023. (65).

25. Zheng S., Shahzad M., Asif H.M., Gao, J., Muqet H.A. Advanced optimizer for maximum power point tracking of photovoltaic systems in smart grid: a roadmap towards clean energy technologies. *Renew. Energy*, 2023. (15).

26. Ding K., Li W., Qian Y., Hu P., Huang Z. Application of user side energy storage system for power quality enhancement of premium power park. *Sustainability*, 2022. (14).

REFERENCES:

1. Nguyen B., Simkin L. (2017) The Internet of Things (IoT) and marketing: the State of play, future trends and the implications for marketing. *Journal of marketing management*, (33).

2. Pan F., Yang Y., Zhao C., Zhao J., Fan Y., Liu R. (2022) Power prosumer internet of things: architecture, applications, and challenges. *Front. Energy Res.*

3. Da X., Li, Wu H., Shancang Li. (2014) Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.

4. Zaitsev E.O., Bereznychenko V.O. (2023) Application of IoT technology in the energy sector. Collection of materials of the fifth international science and practice conf. "Modern trends in the development of information systems and telecommunication technologies", NUHT.

5. Zaitsev Ie., Bereznychenko V., Zakusylo S., Antonenko A. (2022) SMART means of determining emergency conditions in distribution electric networks of cities. *Taurian Scientific Herald. Series: Technical sciences*, (5).

6. Łowczowski K., Olejnik B. (2022) Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies*. (15).

7. Roberts J., Altuve H.J., Hou D. (2005) Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems; SEL: Pullman, WA, USA.

8. Welfonder T., Leitloff V., Fenillet R., Vitet S. (2000) Location strategies and evaluation of detection algorithms for earth faults in compensated MV distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. (4).

9. Zaitsev Ie., Kuchanskyi V., Gunko I. (2021) Increasing operational reliability and efficiency of electrical networks and electrical equipment. Vinnytsia: NGO "European Scientific Platform".
 10. Antonova G.V., Kedych A.V., Kovryyova O.V. (2019) Internet of Things and Wireless Smart Networks in Precision Agriculture. Computer facilities, networks and systems. (18).
 11. Baranov O.A. (2018) Internet of things and health care. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
 12. Baranov O.A. (2018) Internet of things and agriculture. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
 13. Baranov O.A. (2018) Internet of things and transport. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
 14. Hnenny A.P., Gordienko Y.G. (2018) The Internet of Things as the main factor in the implementation of IT technologies in a modern enterprise. Measuring and computing equipment in technol. processes. (1).
 15. Didych Z. (2018) "Internet of things": possibilities and prospects of its use in agriculture of Ukraine. Agrarian economy. (1).
 16. Zhuravel V.I., Tkachuk T.Yu., Borkovskyi D.S. (2019) Internet of things in the medical care system: possibilities and security. Current clinical problems. and prevention. of medicine. (1).
 17. Kotsyubivska K., Prisykh V., Yavorskyi O. (2019) Implementation of Internet of Things technologies during the creation of the "Smart Home" system. Digital platform. Information technologies in the socio-cultural sphere. (2).
 18. I.M. Zhuravska (2018) IoT network based on Bluetooth modules for automated management of energy consumption. Computer-integrated technologies: education, science, development. (30).
 19. Kirylenko O.V., Denisyuk S.P., Blynov I.V., et al. (2014) Intelligent electric power systems: elements and regimes. Under the municipality ed. Acad. NAS of Ukraine A.V. Kirylenko. K.: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine.
 20. Zaitsev Ie., Berezhnychenko V., Zakusylo S., Komisarenko O. (2022) Monitoring and identification of emergency conditions in distribution networks of SMART cities. International conference Intelligent transport systems: ecology, safety, quality, comfort.
 21. Al-Turjman F., Abujubbeh M. (2019) IoT-Enabled Smart Grid via SM: An Overview. Future Generation. Comput. Syst., (96).
 22. Mazzola, S.; Astolfi, M.; Macchi, E. (2015) A Detailed Model for the Optimal Management of a Multigood Microgrid. Appl. Energy, (154).
 23. Amad A., Muqet H.A., Khan T., Hussain A., Waseem M., Niazi. K.A.K. (2023) IoT-enabled campus prosumer microgrid energy management, architecture, storage technologies, and simulation tools: a comprehensive study, Energies, 16 (4).
 24. Kensitytskyi O.G., Levitskyi A.S., Zaitsev Ie.O. (2023) Restoration and modernization of turbine generators of power plants of Ukraine in the post-war period. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. (65).
 25. Zheng S., Shahzad M., Asif H.M., Gao, J., Muqet H.A. (2023) Advanced optimizer for maximum power point tracking of photovoltaic systems in smart grid: a roadmap towards clean energy technologies. Renew. Energy, (15).
 26. Ding K., Li W., Qian Y., Hu P., Huang Z. (2022) Application of user side energy storage system for power quality enhancement of premium power park. Sustainability, (14).
-

УДК 621.391

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.4>

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ СПОЖИВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

Зубенко В. О. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0002-8401-755X

Березюк І. А. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри автоматизації виробничих процесів

Центральноукраїнського національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0003-1903-8204

Волков І. В. – викладач кафедри автоматизації виробничих процесів

Центральноукраїнського національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0002-2331-1237

Інформація в енергетиці, це ключовий фактор для досягнення оптимальної ефективності та стабільності у всіх аспектах виробництва та споживання енергії. Вона не лише надає основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, але й сприяє впровадженню інновацій, використанню відновлювальних джерел та вдосконаленню загальної продуктивності енергетичних систем. Завдяки інформаційним технологіям реалізується концепція прийняття розумних енергетичних рішень, що відповідають потребам ефективного та сталого розвитку в галузі енергетики.

В даній статті проводяться теоретичні та практичні дослідження інформаційної системи та технологій для прийняття рішення щодо керування енергоспоживанням в залежності від необхідних для господарства потужностей.

Аналіз і порівняльні дослідження відомих методів завадостійкого кодування виявили науково-технічне протиріччя між поточним станом науково-методичного апарату теорії завадостійкого кодування, можливостями застосовуваних систем корекції помилок кодів, існуючими методами та алгоритмами п завадостійкого кодування (декодування) і вимогами до властивостей, необхідних для практичних застосувань забезпечення заданого рівня помилково захищеності передачі дискретних повідомлень в телекомунікаційних системах і мережах спеціального призначення, включаючи системи управління та зв'язку.

Виявлено, що вхідні параметри об'єкта керування носять випадковий характер надходження, тому виникає необхідність у їх дослідженні. Використання методів статистичної обробки та аналізу даних дало змогу визначити імовірнісні характеристики швидкості вітру та електричних навантажень (на прикладі Кіровоградського регіону). Середня швидкість вітру становить майже 5 м/с, максимальна середньодобова потужність ВЕУ WE-10000 становить: взимку – близько 4 кВт, весною – майже 5,3 кВт, влітку та восени – приблизно 4,6 кВт.

Дослідження енергетичних потреб показало, що найбільше енергії споживає 1-ша категорія. Лише у весняний період енергетичні потреби 2-ї категорії приблизно на 10% є більшими, ніж для 1-ї категорії. У весняний, літній та осінній періоди енергетичні потреби фермерського господарства можуть бути задоволені за рахунок енергії вітру. В зимовий період ВЕУ може задовольнити енергетичні потреби 1-ї категорії приблизно на 50%, а отже необхідно використовувати електростанцію. Розроблена інформаційно-керуюча система електропостачання проводить відповідні вимірювання для збору статистичних даних та формування графіків середньодобових енергетичних навантажень фермерського господарства. Враховуючи отримані показники потужностей вітроенергетичної установки та електричної станції з двигуном внутрішнього згорання,

система застосовує розроблений алгоритм для ефективного розподілу отриманої енергії, відповідно до енергетичних потреб господарства.

Ключові слова: інформаційні системи, відновлювальні джерела енергії, вітроустановка.

Zubenko V. O., Bereziuk I. A., Volkov I. V. The use of information technologies for optimization of energy consumption management

Information technology in the energy sector is a key factor for achieving optimal efficiency and sustainability in all aspects of energy production and consumption. It not only provides a basis for making informed management decisions, but also promotes innovation, the use of renewable energy sources, and improves the overall performance of energy systems. Information technologies help to realize the concept of making smart energy decisions that meet the needs of efficient and sustainable development in the energy sector.

The theoretical and practical studies of information systems and technologies for decision-making on energy supply management depending on the capacities required for the economy are carried out in this article.

It was revealed that the input parameters of the control object are of a random nature, so there is a need to study them. The use of statistical processing and data analysis methods made it possible to determine the probabilistic characteristics of wind speed and electrical loads (on the example of the Kirovograd region). The average wind speed is almost 5 m/s, the maximum average daily power of wind turbine WE-10000 is about 4 kW in winter, almost 5.3 kW in spring, and about 4.6 kW in summer and autumn.

The study of energy needs showed that category 1 consumes the most energy. Only in the spring, the energy needs of category 2 are about 10% higher than those of category 1. In spring, summer and autumn, the energy needs of the farm can be met by wind energy. In winter, a wind turbine can meet the energy needs of category 1 by about 50%, and therefore a power plant is required. The developed information management system of electricity supply carries out relevant measurements to collect statistical data and generate graphs of average daily energy loads of the farm. Taking into account the obtained indicators of the capacities of the wind turbine and the power plant with an internal combustion engine, the system applies the developed algorithm for the efficient distribution of the received energy, in accordance with the energy needs of the farm.

Key words: information systems, renewable energy sources, wind turbine.

Постановка проблеми. Розвиток сучасної електроенергетики базується на інформаційних технологіях, що включають елементну базу й програмні продукти. Вони однаково впливають на темпи змін у різних технологіях і в електроенергетиці зокрема. Використання комп'ютерних інформаційних технологій забезпечує беззбійну генерацію електрики і її постачання споживачам, майже половина яких в Україні – населення.

Сьогодні одним із пріоритетних завдань є розробка, використання та впровадження інформаційних систем в енергетиці. Це дасть можливість ефективно оптимізувати виробництво та розподіл електроенергії, забезпечити оптимізацію витрат, прогнозувати попит, моніторити стан обладнання, впроваджувати відновлювальні джерела енергії, сприяти сталому розвитку та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Розширення використання розумних енергетичних мереж є ключовим напрямком, оскільки вони впроваджують принцип розподіленої енергогенерації. Для їх енергозабезпечення доцільним є використання альтернативних джерел енергії [1, 2]. Однак, більшість енергогенеруючих об'єктів альтернативної енергетики мають середню або невелику потужність. Тому економічно доцільно збільшувати кількість таких об'єктів у непрякій близькості до споживача та використовувати технології, які дозволяють кінцевому споживачу не лише споживати енергію, але й виробляти її та направляти надлишки до енергомережі.

Важливим напрямком досліджень є розгляд можливостей децентралізованих систем енергопостачання, таких як мікромережі та енергетичні спільноти, як перспективного шляху розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в галузі децентралізації енергопостачання спрямовані на розвиток двох основних напрямків [4, 5].

По-перше, це мікромережі – невеликі автономні системи, що виробляють енергію на місці використання, за допомогою сонячних панелей, вітрових турбін та акумуляторів. Вони забезпечують самодостатність та ефективність у віддалених регіонах.

По-друге, енергетичні спільноти об'єднують групи споживачів та виробників для спільного виробництва та обміну електроенергією, використовуючи технології блокчейн для прозорого розподілу ресурсів.

Ці дослідження спрямовані на створення більш сталої та гнучкої системи, зменшуючи залежність від централізованих енергетичних мереж та відповідаючи на змінні потреби різних спільнот.

Сучасні розвинені країни, зокрема США, Китай, Японія та Південна Корея, вже активно ведуть розробку «розумних» (інтелектуальних) систем електропостачання майбутнього. Зростання світового населення, розвиток технологій, а також військовий стан в Україні створюють необхідність у вдосконаленні методів виробництва, розподілу та споживання енергії. Тому, розробка інформаційних систем та технологій для оптимізації управління споживанням енергії є надзвичайно актуальною темою, через необхідність вирішення специфічних викликів у галузі енергетики.

Мета статті – розробка та дослідження інформаційно-керуючої системи для ефективного енергозабезпечення фермерського господарства (мікромережі), шляхом раціонального використання енергії, спрогнозованих даних та ресурсного потенціалу регіону.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення енергопостачанням віддалених господарств доцільно використовувати комбінований підхід, який включає в себе традиційну енергетичну мережу, резервні енергостанції (бензинові, дизельні, газові і т.д.) та використання відновлюваних джерел енергії. Вибір конкретного відновлювального джерела залежить від його доступності в конкретній локації [5–108].

Для подальших досліджень було обрано віддалений від ліній централізованого електропостачання споживач – фермерське господарство, розташоване на території Кіровоградської області. Система енергопостачання господарства, має в своєму складі 2 джерела енергії – вітроелектричну установку (ВЕУ) та енергостанцію (ЕС) з двигуном внутрішнього згорання.

Оскільки споживач не може використовувати додаткові джерела енергії (матеріальні, територіальні фактори), то для забезпечення власних потреб необхідно раціонально використовувати енергію, яка є в наявності [6, 7].

Існуючі методи і засоби автоматизації процесу керування енергоспоживанням не дозволяють досягти мети, поставленої в роботі, тому виникла необхідність розв'язати наступні задачі:

- 1) дослідити енергетичні потреби обраного фермерського господарства;
- 2) визначити структуру інформаційної системи керування енергопотребами фермерського господарства та розробити алгоритм її роботи.

Згідно підходу [5] пропонується, електроприймачі розподілити на групи по наступним категорії (ПУЕ (п. 1.2.17) [3]):

- 1) електроприймачі, які не допускають перерв в енергопостачанні;
- 2) електроприймачі, які допускають перериви в енергопостачанні на деякий час;

3) решта електроприймачів, що не підпадають під визначення I та II категорій. Тобто, електроприймачі, які допускають перериви в енергопостачанні.

Таким чином розробляема система повинна виконувати порівняння кількості енергії, яка потрібна споживачу. При цьому пріоритет повинен надаватись споживачам I категорії.

Рішення поставлених задач проводилось в декілька етапів.

На першому етапі досліджували вхідні змінні об'єкта керування. Об'єктом керування є система енергоспоживання фермерського господарства.

Вхідними змінними є енергетичні потреби споживача (кількість енергії, що генерують енергоустановки в певний момент часу) та енергетичні можливості (потоки) джерел енергії (кількість енергії, що необхідна споживачу в певний момент часу). На даному етапі за допомогою методів статистичної обробки, теорії ймовірності та математичного аналізу були побудовані графіки навантаження енергетичних потреб та потужностей джерел енергії за сезонами року.

Результати досліджень свідчать, що найвищий рівень споживання енергії спостерігається у категорії 1, менший – у категорії 2, та найменший – у категорії 3. Середньодобові енергетичні потреби фермерського господарства складають приблизно 182 кВт·год. взимку, майже 63 кВт·год. навесні, близько 52 кВт·год. влітку та 53,1 кВт·год. восени.

Другий етап. На основі отриманих графіків був проведений аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб споживача.

Для проведення такого аналізу були використані методи статистичного аналізу та теорії ймовірності, та спеціальні програмні пакети (MathCad, MatLab та ін.)

З цією метою були проведені дослідження роботи вітроенергетичної установки WE-10000 в Кіровоградському регіоні, та отримані залежності середньодобової потужності ВЕУ WE-10000 за сезонами року в умовах Кіровоградського регіону.

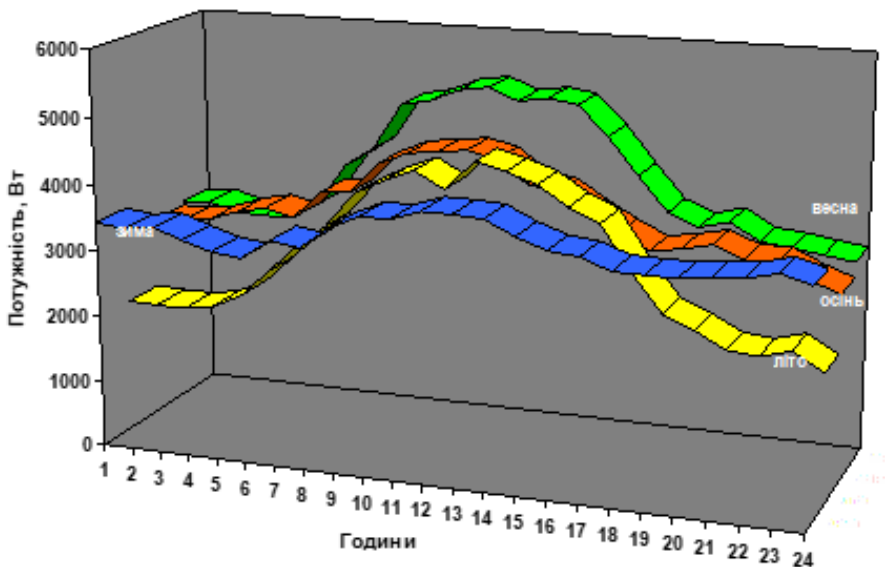


Рис. 1. Залежність потужності ВЕУ WE-10000 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні за сезонами року

Отримані залежності дали змогу виявити взаємозв'язок між електропостачанням та електроспоживанням фермерського господарства та побудувати відповідні графіки енергетичних потреб та енергетичних потоків (потужність ВЕУ), для всіх сезонів року. Для досягнення цієї мети було використано програмний пакет Microsoft Excel.

Аналізуючі отримані дані, можна зробити висновок, що у весняний, літній та осінній сезони енергетичні потреби с/г об'єкта можуть бути майже повністю задоволені за рахунок енергії вітру. В зимовий сезон енергії вітру недостатньо для забезпечення енергією (рис. 2).

Отримані дані спостережень та проведених розрахунків, треба обов'язково врахувати при розробці інформаційно-керуючої системи.

На третьому етапі були розроблені структурна схема системи та алгоритм її роботи.

Вихідними змінними об'єкта керування є – вибір категорії електроприймачів для яких, згідно наявних в певний момент часу енергетичних потоків, слід здійснювати енергопостачання.

Таким чином, структура розробленої системи буде мати вигляд, показаний на рис. 3.

Згідно даної структури основним джерелом енергії є ВЕУ, резервним – ЕС. Тобто спочатку використовується енергія від ВЕУ, а у разі її недостатньої кількості необхідно використовувати ЕС. Як тільки кількості енергії від ВЕУ достатньо, то ЕС вимикають. АКБ та АІ, що входять до складу СГЖ, необхідні для надання енергії належної якості (напруга 220 В, частота 50 Гц, симетричність та синусоїдальність струму і напруги тощо).

Керування роботою енергоустановками здійснюється згідно розробленого алгоритму роботи.

Система повинна виконувати перерозподіл наявної енергії до електроприймачів наступним чином:

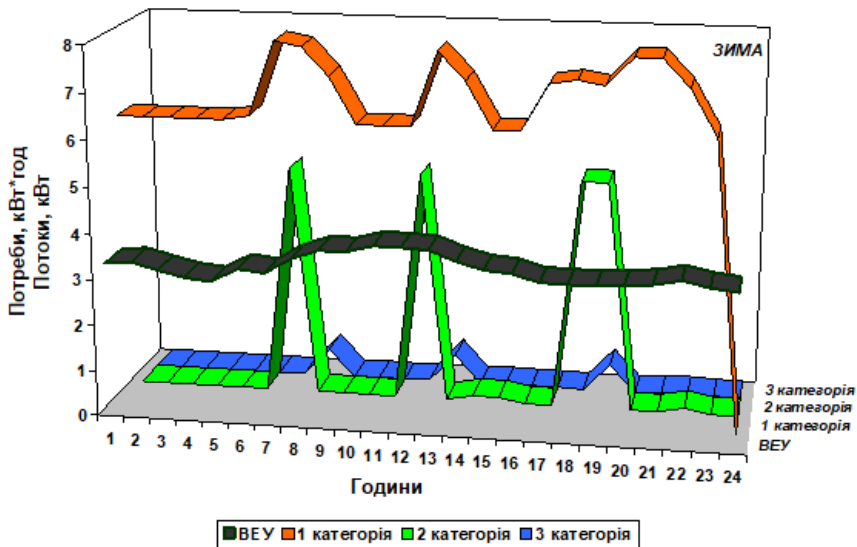


Рис. 2. Середньодобове енергопостачання та енергоспоживання зимою

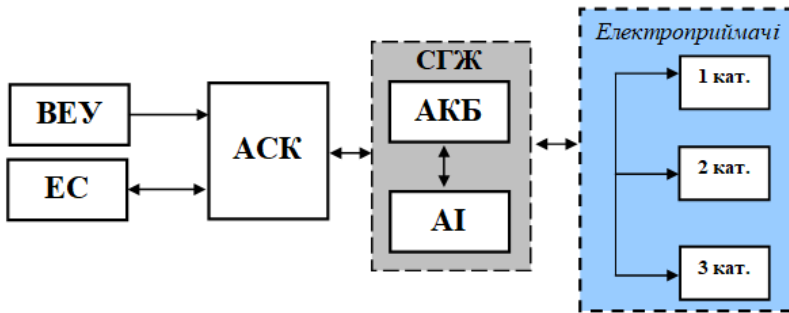


Рис. 3. Структура АСК ЕСФГ:

ВЕУ – вітроелектрична установка; ЕС – енергостанція; АСК – автоматизована система керування; СГЖ – система гарантованого живлення; АКБ – акумуляторні батареї; АІ – автономний інвертор; споживач 1 гр., 2 гр, 3 гр. – категорії електроприймачів

1. Порівняти кількість енергії, що надходить від ВЕУ та ЕС, з кількістю енергії, що необхідна споживачу.
2. Якщо енергії вистачає для забезпечення всіх електроприймачів, то здійснювати енергопостачання.
3. Якщо енергії не вистачає, то надавати енергію електроприймачам 1-ї категорії, а залишок – для електроприймачів 2-ї та 3-ї категорій.

В результаті проведеної роботи була розроблена інформаційно-керуюча система електропостачання фермерського господарства, яка розподіляє отриману електричну енергію, в залежності від потреб господарства.

Висновки. Дослідження енергетичних потреб фермерського господарства розташованого в Кіровоградському регіоні, показало, що загалом, енергетичні потреби всіх категорій електроприймачів фермерського господарства можуть бути задоволені за рахунок енергії вітру. Однак, в зимовий період, ВЕУ може задовольнити енергетичні потреби 1-ї категорії приблизно на 50%, а отже необхідно використовувати електростанцію. Все це враховує розроблена інформаційно керуюча система електропостачання. Яка проводить відповідні вимірювання для збору статистичних даних та отримання графіків середньодобових енергетичних навантажень фермерського господарства, та в залежності від отриманих потужностей вітроенергетичної установки та електричної станції з двигуном внутрішнього згорання перерозподіляє отриману енергію на енергетичні потреби господарства, згідно розробленого алгоритму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Про альтернативні джерела енергії: Закон України № 555-IV від 20.02.2003 року (із змінами, внесеними згідно із Законом № 3220-IX від 30.06.2023/ Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2009, № 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». / Верховна Рада України URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
4. Легеза О.Н., Жесан Р. В., Голик О. П. Аналіз каналів передачі інформації для інтелектуальних систем енергопостачання майбутнього. *Перспективні напрямки*

розвитку сучасних інформаційних систем та технологій: матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції. Кропивницький, 2021. С. 40.

5. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков та ін. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 192 с.

6. Яснолоб І.О., Чайка Т.О., Горб О.О., Радіонова Я.В. Концептуальні засади ефективного функціонування енергетично незалежних сільських територій. *Економіка АПК*. 2019. № 3. С. 115–122.

7. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання : аналіт. доп. / О. М. Суходоля. Київ : НІСД, 2022. 36 с. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>

8. Сучасні технології в галузі енергетичних ресурсів. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=1370>

REFERENCES:

1. Pro alternatyvni dzherela enerhii: Zakon Ukrainy № 555-IV vid 20.02.2003 roku (iz zminamy, vnesenymy zghidno iz Zakonom № 3220-IX vid 30.06.2023/ *Verkhovna Rada Ukrainy. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. 2009, № 13 [About alternative energy sources: Law of Ukraine № 555-IV 20.02.2003 (with changes introduced in accordance with Law No. 3220-IX dated 06.30.2023 – *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine*)] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> [in Ukrainian].

2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku “Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist” [Energy strategy of Ukraine for the period until 2035 “Security, energy efficiency, competitiveness”] / *Verkhovna Rada Ukrainy* URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf> [in Ukrainian].

3. Pravyla ulashtuvannia elektroustanovok. (2017). Vydannia ofitsiine. Minenerhovuhillia Ukrainy. Kh: Vydavnytstvo “Fort” [Rules for arranging electrical installations]. (2017). The publication is official. Ministry of Energy and Coal of Ukraine. Kh: Fort Publishing House [in Ukrainian].

4. Leheza, O.N., Zhesan, R. V., Holyk, O. P. (2021) Analiz kanaliv peredachi informatsii dlia intelektualnykh system enerhopostachannia maibutnoho [Analysis of information transmission channels for intelligent energy supply systems of the future]. Proceedings from “*Perspektyvni napriamky rozvytku suchasnykh informatsiinykh system ta tekhnolohii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi studentskoi konferentsii*” (p. 40). Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian].

5. Holyk, O.P., Zhesan, R.V., Volkov, I.V. (2020). *Enerhozberezhennia ta vykorystannia ponovliuvanykh dzherel enerhii [Energy conservation and use of renewable energy sources]* Chastyina I: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvity za spetsialnistiu 141 “*Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika*”. Kropyvnytskyi : Vydavets Lysenko V.F [in Ukrainian].

6. Yasnolob, I.O., Chaika, T.O., Horb, O.O., Radionova, Ya.V. (2019). Kontseptualni zasady efektyvnoho funktsionuvannia enerhetychno nezaleznykh silskykh terytorii. [Conceptual principles of effective functioning of energy-independent rural areas] *Ekonomika APK*. № 3 (pp. 115–122). Retrieved from <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201903115> [in Ukrainian].

7. Novitni enerhetychni tekhnolohii ta yikh vplyv na funktsionuvannia system enerhopostachannia [The latest energy technologies and their impact on the functioning of energy supply systems]. (2022). Kyiv: NISD. Retrieved from <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17> [in Ukrainian].

8. Suchasni tekhnolohii v haluzi enerhetychnykh resursiv [Modern technologies in the field of energy resources]. Retrieved from: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=1370> [in Ukrainian].

УДК 004.932.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.5>

СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ АВТОНОМНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ НА БАЗІ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ SEA-THRU ТА НЕЙРОМЕРЕЖІ YOLO

Іванюк В. І. – магістрант факультету прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0009-0009-5340-2242

Потапова К. Р. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних
систем факультету прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-3347-6350

Наливайчук М. В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри системного програмування і спеціалізованих
комп'ютерних систем факультету прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-8942-9844

Гуріненко С. О. – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних
та навігаційних систем факультету приладобудування
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-0180-3107

Вокк Л. Б. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри прикладної математики факультету прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-3098-8078

Автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) представляють значні можливості для різноманітних завдань у водному середовищі, таких як наукові дослідження, цивільні дослідження і військові місії. Вони використовуються для вивчення підводного середовища за допомогою різноманітних бортових приладів і датчиків. Однак виявлення та класифікація підводних об'єктів залишаються складними завданнями через умови підводного середовища, такі як розсіювання і поглиблення світла.

У даний час попередні методи виявлення підводних об'єктів в основному базуються на традиційних підходах до обробки зображень та комп'ютерного зору, які часто не враховують усіх складнощів підводного середовища. Пропонована робота розглядає інтеграцію реконструкції кольорів та використання глибокого навчання безпосередньо на борту АБПА. Це може вирішити виклики, пов'язані зі зменшенням якості зображень через розсіювання та поглиблення світла у водному середовищі.

Розглядаючи важливість виявлення та класифікації підводних об'єктів у реальному часі, обрана стратегія інтеграції технологій не тільки покращить здатність АБПА розпізнавати об'єкти, але й зробить цей процес ефективнішим і надійнішим. Результатом буде збільшена точність та швидкість виявлення об'єктів у водних глибинах, що розширить можливості використання АБПА в різноманітних областях, включаючи військові операції, наукові дослідження та місії цивільного призначення.

Дослідження зосереджується на вирішенні ключової проблеми – ефективному виявленні та класифікації підводних об'єктів в реальному часі. Інтеграція передових технологій та підходів відкриває нові перспективи для автоматизованого аналізу зображень у підводному середовищі. Покращення точності та швидкості виявлення об'єктів може розширити можливості АБПА для різноманітних застосувань, включаючи військові, дослідницькі та цивільні місії у водних середовищах.

Ключові слова: автономні безпілотні підводні апарати, розпізнавання об'єктів в реальному часі, Sea-thru, YOLO.

Ivaniuk V. I., Potapova K. R., Nalyvaichuk M. V., Hurinenko S. O., Vovk L. B. Computer vision system of autonomous unmanned underwater vehicles based on modified Sea-thru method and YOLO neural network

Autonomous unmanned underwater vehicles (AUV) represent significant opportunities for a variety of tasks in the aquatic environment, such as scientific research, civilian research and military missions. They are used to study the underwater environment using a variety of on-board instruments and sensors. However, the detection and classification of underwater objects remain challenging due to the conditions of the underwater environment, such as scattering and deepening of light.

Currently, previous methods of detecting underwater objects are mainly based on traditional approaches to image processing and computer vision, which often do not take into account all the complexities of the underwater environment. The proposed work considers the integration of colour reconstruction and the use of deep learning directly on board AUV. This can solve the challenges associated with reduced image quality due to scattering and deepening of light in the water environment.

Considering the importance of real-time detection and classification of underwater objects, the chosen technology integration strategy will not only improve the AUV's ability to recognize objects, but also make this process more efficient and reliable. The result will be increased accuracy and speed of detection of objects in water depths, which will expand the possibilities of using AUV in a variety of areas, including military operations, scientific research and civilian missions.

The research focuses on solving the key problem – effective detection and classification of underwater objects in real time. The integration of advanced technologies and approaches opens up new perspectives for automated image analysis in the underwater environment. Improvements in the accuracy and speed of object detection can expand AUV capabilities for a variety of applications, including military, research, and civilian missions in aquatic environments.

Key words: autonomous unmanned underwater vehicles, real-time object recognition, Sea-thru, YOLO.

Постановка проблеми. В цьому дослідженні розглядається проблема розпізнавання об'єктів у різних умовах. У сучасному світі розвиток технологій автономних безпілотних апаратів стає ключовим фактором в ряді галузей, включаючи науку, промисловість та оборонну справу, і в цьому контексті розробка ефективних систем розпізнавання об'єктів для автономних безпілотних підводних апаратів (АБПА) набуває великого значення.

Однією з ключових проблем у цьому контексті є втрата кольору на зображеннях через поглиблення та розсіювання світла у воді. Традиційні методи відновлення кольорів стикаються з обмеженнями, що постають внаслідок хмарності води та інших артефактів, що виникають при роботі в підводному середовищі. В рамках даного дослідження розглядається метод Sea-thru, який виявився перспективним у вирішенні цих проблем.

Метод Sea-thru спрямований на відновлення втрачених кольорів на підводних зображеннях шляхом компенсації впливу води на спектральний склад світла. Цей

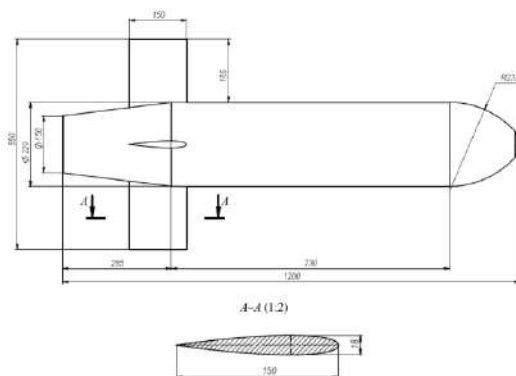


Рис. 1. Ескізне креслення АБПА [2]

підхід базується на аналізі розсіювання світла в залежності від його довжини хвилі та глибини поглиблення. Під час реконструкції кольорів Sea-thru використовує інтелектуальні алгоритми та математичні моделі, що дозволяють ефективно компенсувати вплив атмосферних умов та характеристик водоймища.

Досягненням в даному дослідженні є інтеграція методу Sea-thru з нейронною мережею YOLO (You Only Look Once). YOLO є потужним інструментом для об'єктного розпізнавання, оскільки дозволяє проводити цей процес в режимі реального часу. Поєднання Sea-thru та YOLO створює систему, яка не лише відновлює втрачені кольори на підводних зображеннях, але й ідентифікує об'єкти з високою точністю.

В даній статті розглянуто метод Sea-thru, шляхом опису його принципів і важливості у контексті аналізу підводних зображень. Також розглянуто архітектуру та переваги нейронної мережі YOLO у реалізації завдань ідентифікації об'єктів у відновлених кольорових зображеннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед розглянутих досліджень в сфері комп'ютерного зору є наступні методи і алгоритми: Blob Analysis, детектор границь Канні, детектор кутів Гарріса та нейронні мережі класифікації об'єктів.

1. *Blob Analysis* – фундаментальний метод машинного зору, що ґрунтується на аналізі послідовних областей зображення, є важливим інструментом для застосувань, де об'єкти, що перевіряються, чітко відокремлюються на тлі фону. Різноманітні методи аналізу згустків (Blob Analysis) дозволяють створювати індивідуальні рішення для різноманітних завдань візуального контролю [3]. Аналіз згустків широко використовується в обробці зображень і програмах комп'ютерного зору, таких як виявлення об'єктів, відстеження та сегментація зображень.

Основні етапи аналізу плям такі:

1. Визначення порогового значення
2. Маркування з'єднаних компонентів
3. Фільтрація та аналіз згустків
4. Вилучення характеристик згустків
5. Відстеження та розпізнавання об'єктів

Аналіз плям є ключовою технікою в області комп'ютерного зору та відіграє важливу роль у численних реальних застосунках, особливо в тих, що передбачають ідентифікацію та аналіз об'єктів на зображеннях або відеозаписах. Вдосконалення цього методу дозволяє покращити його ефективність у випадках складного фону та різноманітних умов освітлення [4].

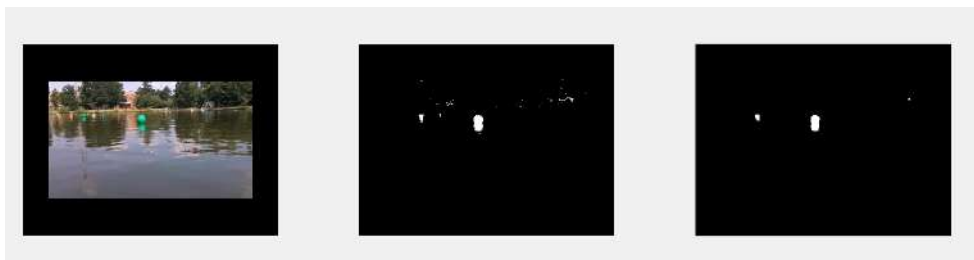


Рис. 2. Порогування зображення

```
I = rgb2hsv(img);  
  
channel1Min = 0.499;  
channel1Max = 0.545;  
  
channel2Min = 0.354;  
channel2Max = 0.698;  
  
channel3Min = 0.317;  
channel3Max = 0.924;  
  
sliderBW = ( (I(:, :, 1) >= channel1Min) | (I(:, :, 1) <= channel1Max) ) & ...  
           (I(:, :, 2) >= channel2Min ) & (I(:, :, 2) <= channel2Max) & ...  
           (I(:, :, 3) >= channel3Min ) & (I(:, :, 3) <= channel3Max);  
BW = sliderBW;
```

Рис. 3. Визначення порогового значення



Рис. 4. Визначення об'єкта

2. Детектор Канні є одним із найбільш широко використовуваних алгоритмів виявлення меж у зображеннях. Він був розроблений Джоном Канні в 1986 році [5] і досі залишається популярним завдяки своїй ефективності та точності.

Процес алгоритму виявлення контурів Канні можливо розбити на п'ять різних етапів:

1. Згладжування (Smoothing): Застосовується фільтр Гауса для згладжування зображення і зниження шуму. Оператор Канні використовує фільтр (1), який може бути добре наближений до першої похідної гауссіани $\sigma = 1.4$.

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * A \quad (1)$$

де A – це вхідне зображення, B – вихідне зображення.

2. Обчислення градієнта (Gradient Calculation): Обчислюються градієнти яскравості в зображенні з використанням оператора Собеля. Оператор використовує ядра 3×3 , які згорнуті з вихідним зображенням для обчислення наближень похідних – одне для горизонтальних змін, а інше для вертикальних. Нехай A – це вихідне зображення, а G_x і G_y – два зображення, на яких кожна точка містить наближені похідні по x і по y . Вони обчислюються таким чином:

$$G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A \text{ та } G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (2)$$

Кут напрямку вектора градієнта округлюється і може набувати таких значень: 0, 45, 90, 135.

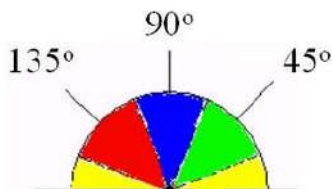


Рис. 5. Схематичне зображення округлень значень ребер

3. Придушення не-максимумів (Non-maximum Suppression): Кордони уточнюються шляхом придушення всіх пікселів, які не є локальними максимумами в напрямку градієнта.

4. Подвійний поріг (Double Thresholding): Застосовується дворівневе порогове значення для визначення «сильних» і «слабких» кордонів.

5. Остаточне визначення межі (Edge Tracking by Hysteresis): Сильні межі зберігаються, а слабкі межі зберігаються тільки в тому разі, якщо вони з'єднуються із сильною межею.

Детектор Канні з високою точністю виявляє краї об'єктів на зображенні, але при цьому вимогливий до обчислювальних ресурсів і не завжди ефективний у випадках з високими шумами або складним фоном.

Загалом, детектор Канні є корисним інструментом для задач виявлення об'єктів та аналізу контурів на зображеннях, і його ефективність доповнюється іншими алгоритмами обробки зображень для отримання точних та надійних результатів.

3. Перетворення Гарріса, відоме також як детектор кутів та країв Гарріса, є важливим інструментом у галузі комп'ютерного зору та обробки зображень. Розроблене Крісом Гаррісом та Майклом Стівенсом та вперше представлене

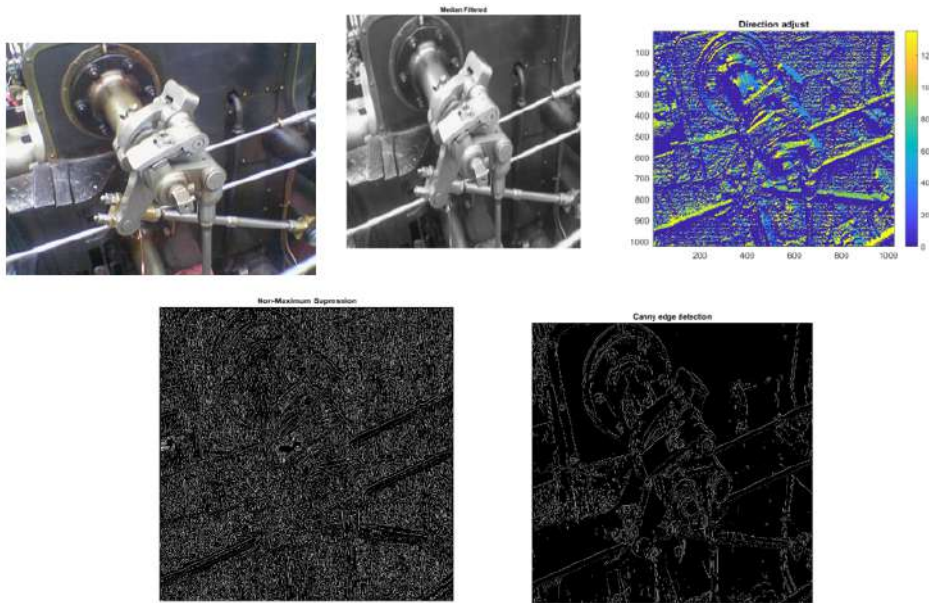


Рис. 6. Поетапне створення границь за допомогою детектора Канні

у 1988 році, це перетворення використовується для виявлення кутів та країв на зображеннях, а також для визначення ключових точок, які можуть бути використані для подальших завдань, таких як розпізнавання об'єктів та відстеження руху.

Детектор кутів Гарріса ґрунтується на концепції детектора кутів Моравека, що працює за допомогою аналізу локального вікна на зображенні та визначення середніх змін інтенсивності, які виникають при зсуві цього вікна на невелику відстань у різних напрямках. Цей процес потребує розгляду трьох різних сценаріїв [6]:

А. У випадку, коли обидві кривизни малі і локальна автокореляційна функція є плоскою, віконна область зображення має майже постійну інтенсивність (тобто зсуви ділянки зображення мало змінюють E).

В. Якщо одна кривизна велика, а інша мала, і локальна автокореляційна функція має форму гребеня, то лише зсуви вздовж гребеня (тобто вздовж краю) призводять до невеликих змін в E , що вказує на наявність краю.

С. Якщо обидві кривизни великі і локальна автокореляційна функція має гострий пік, то зсуви в будь-якому напрямку призводять до збільшення E , що вказує на наявність кута.

Алгоритм детектора кутів Гарріса має наступний вигляд:

1. Перетворення кольору в відтінки сірого.

Перетворення кольору пікселя в відтінки сірого відбувається за наступною формулою:

$$\sum_{C \in \{R,G,B\}} \omega_C \cdot C, \quad (3)$$

де $\omega_R = 0.299$, $\omega_G = 0.587$, $\omega_B = 0.144$.

2. Обчислення просторової похідної.

Наступним кроком є знаходження похідної за x та y , $I_x(x, y)$ та $I_y(x, y)$.

3. Налаштування структурного тензора.

За допомогою та знаходиться структурний тензор

4. Розрахунок відгуку Гарріса

Для кожного $x \ll y$ маємо $\frac{x \cdot y}{x+y} = x \frac{1}{1+x/y} \approx x$. На цьому етапі обчислюється найменше власне значення структурного тензора, використовуючи це наближення:

$$\lambda_{min} \approx \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{\det(M)}{\text{tr}(M)}, \quad (4)$$

де слід матриці $\text{tr}(M) = m_{11} + m_{22}$.

5. Немаксимальне придушення

Це можна представити на просторовому графіку (α, β) . Ідеальне ребро матиме велике значення α і нульове значення β (це буде поверхня трансляції), при цьому на практиці β буде досить малим порівняно з α через шум та пікселізацію. Кут буде позначатися великими значеннями α і β , а пласка область зображення – малими значеннями α і β . Оскільки збільшення контрастності зображення в p разів збільшує α і β пропорційно на p^2 , то якщо (α, β) вважається крайовою областю, то і $(\alpha p^2, \beta p^2)$. також, для додатних значень P . Аналогічні міркування застосовуються і до кутів. Таким чином, простір (α, β) слід поділити, як показано товстими лініями на рис. 7.

Перетворення Гарріса застосовується в багатьох областях, включаючи відстеження руху в відео, стереозор та реконструкцію 3D-сцен, розпізнавання об'єктів, автоматичну фокусування камер, робототехніку, а також для поліпшення загальної обробки зображень.

4. Згорткова нейронна мережа (CNN) представляє собою клас глибоких штучних нейронних мереж прямого поширення, спеціально розроблених для досягнення точності в завданнях комп'ютерного зору, таких як класифікація та виявлення зображень [7]. Хоча CNN схожа на традиційні нейронні мережі, вона відрізняється глибшими шарами, включаючи ваги, зсуви та виходи через нелінійні активації. Нейрони CNN розташовані у формі об'єму, враховуючи висоту, ширину та глибину.

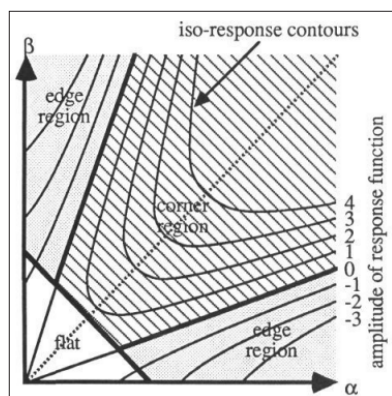


Рис. 7. Автокореляція головної кривизни простору – товсті лінії дають класифікацію кутів/країв/площин, тонкі лінії – контури рівного відгуку [6]

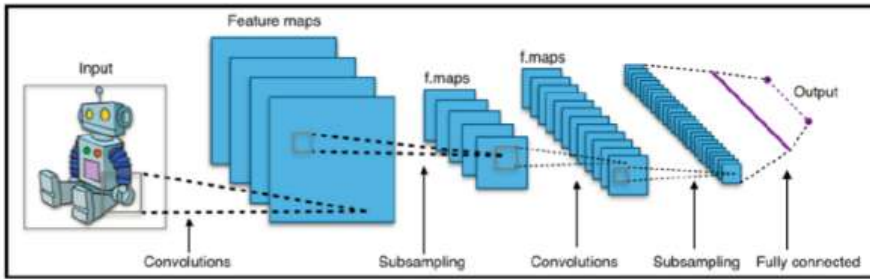


Рис. 8. Архітектура CNN [8]

На рис. 8 представлена архітектура CNN, яка включає в себе згортковий шар, шар об'єднання та повністю з'єднаний шар. Згортковий шар і шар об'єднання зазвичай чергуються, збільшуючи глибину кожного фільтра зліва направо, тоді як розміри (висота і ширина) зменшуються. Останній етап – це повністю з'єднаний шар, аналогічний останньому шару у звичайних нейронних мережах.

Для аналізу зображень була розроблена модифікація CNN, відома як «регіони зі згорнутою нейронною мережею» (R-CNN). Цей підхід поєднує прямокутні пропозиції регіонів із функціями згорнутої нейронної мережі. R-CNN є двоетапним алгоритмом виявлення, на першому етапі визначаючи області на зображенні, що можуть містити об'єкт, а на другому етапі класифікує об'єкт в кожній з визначених областей. Моделі виявлення об'єктів за допомогою R-CNN базуються на таких трьох процесах:

- Знайти на зображенні області, які можуть містити об'єкт. Ці регіони називаються пропозиціями регіонів.
- Отримати функції CNN із пропозицій регіону.
- Класифікувати об'єкти за виділеними ознаками.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Дані методи добре зарекомендували себе в області виявлення та класифікації об'єктів в звичайних, атмосферних, умовах, не враховуючи можливі погіршення якості зображення у водному середовищі. Через це, використання цих методів для систем керування АБПА не є оптимальним рішенням.

Метою дослідження є розробка системи комп'ютерного зору для АБПА на базі методу реконструкції кольорів Sea-thru та нейронної мережі YOLO.

Основний матеріал дослідження

1. *Sea-thru method*

Sea-thru – це метод, що базується на фізиці світла в підводному середовищі. Він використовує модель формування підводних зображень Аккайнака-Трайбіца та не використовує нейронні мережі і не навчався на жодному наборі даних. Він працює без кольорової карти або будь-якої інформації про оптичні якості чи глибину водойми.

Формування зображення регулюється рівнянням [9]:

$$I_c = D_c + B_c, \quad (5)$$

де $c = R, G, B$ – колірний канал, I_c – зображення зі спотвореними кольорами, D_c – прямий сигнал, що містить інформацію про (ослаблену) сцену, і B_c – зворотне розсіювання, додатковий сигнал, який погіршує зображення за рахунок світла,



Рис. 9. Метод Sea-thru видаляє воду з підводних зображень, [9]

відбитого від частинок, зважених у товщі води. Компоненти D_c і B_c визначаються двома різними коефіцієнтами β_c^D і β_c^B , які є коефіцієнтами широкосмугового (RGB) ослаблення і зворотного розсіювання відповідно.

Розширена форма рівняння 5 має вигляд [10]:

$$I_c = J_c e^{-\beta_c^D (vD) * z} + B_c^\infty (1 - e^{-\beta_c^B (vB) - z}), \quad (6)$$

де z – дальність (відстань) між камерою та об'єктами сцени вздовж лінії зору, B_c^∞ – світло, що затуляє, а J_c – незатушована сцена, яка була б захоплена в місці розташування камери, якби не було затухання вздовж z . $vD = \{z, \rho, E, S_c, \beta\}$ та $vB = \{z, S_c, b, \beta\}$ – вектори, що представляють залежності коефіцієнтів β_c^D і β_c^B , від відстані z , коефіцієнта відбиття ρ , спектра зовнішнього світла E , спектрального відгуку камери S_c а також фізичних коефіцієнтів розсіювання та послаблення променя у водоймі b та β , які є функціями довжини хвилі λ . Раніше вважалося, що $\beta_c^D = \beta_c^B$, і що ці коефіцієнти мають єдине значення для даної сцени, але в минулих дослідженнях [3] було показано, що вони різні, і, крім того, мають залежності від різних факторів.

Рівняння 6 сформульовано для зображення в горизонтальному напрямку, хоча воно може бути застосовано до сцен, знятих у різних напрямках, припускаючи, що відхилення малі. Рівняння, що пов'язують коефіцієнти RGB β_c^D і β_c^B з фізичними величинами, залежними від довжини хвилі, мають вигляд [9]:

$$\beta_c^D = \ln \left[\frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} S_c(\lambda) \rho(\lambda) E(d, \lambda) e^{-\beta(\lambda) z} d\lambda}{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} S_c(\lambda) \rho(\lambda) E(d, \lambda) e^{-\beta(\lambda) (z + \Delta z)} d\lambda} \right] / \Delta z, \quad (7)$$

$$\beta_c^B = -\ln \left[1 - \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} S_c(\lambda) B^\infty(\lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda) z}) d\lambda}{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} B^\infty(\lambda) S_c(\lambda) d\lambda} \right] / \Delta z, \quad (8)$$

На основі вищезазначених рівнянь для відновлення J_c необхідно оцінити наступні параметри: дані про освітленість, глибину, на якій було зроблено фотографію і спектральну характеристику камери, відстань між об'єктом та АБПА.

2. Нейронна мережа YOLO

You only look once (YOLO) – це згорткова нейронна мережа, яка розглядає виявлення об'єктів як задачу регресії: від пікселів зображення до координат обмежувальних рамок та ймовірностей класів. За допомогою цієї системи достатньо лише одного перегляду (*you only look once*) зображення, щоб передбачити, які об'єкти присутні і де вони розташовані.

Архітектура YOLO ґрунтується на моделі класифікації зображень GoogLeNet. Загальна структура мережі включає 24 згорткових шари, за якими слідує два

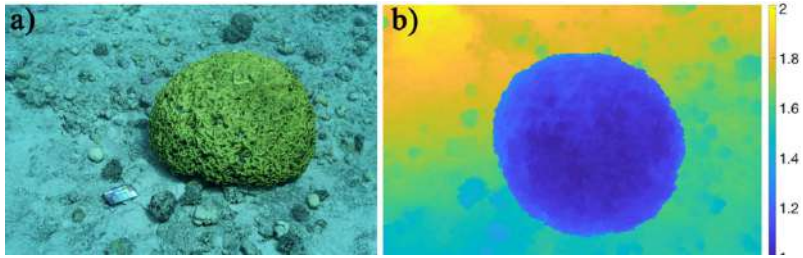


Рис. 10. а) 3D-модель, що створена з 68 фотографій за допомогою Photoscan Professional (AgiSoft LLC). б) Карта дальності z (у метрах), отримана з цієї моделі [9]

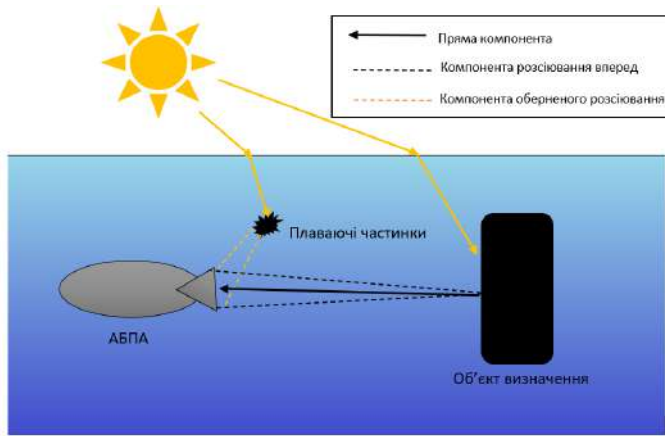


Рис. 11. Модель підводної візуалізації

повністю зв'язані шари. На відміну від початкових модулів, які використовує GoogLeNet, YOLO використовує шари скорочення 1×1 , за якими слідують згорткові шари 3×3 , аналогічно до підходу, представленого Ліном та іншими. Загальна конфігурація мережі представлена на рисунку 12.

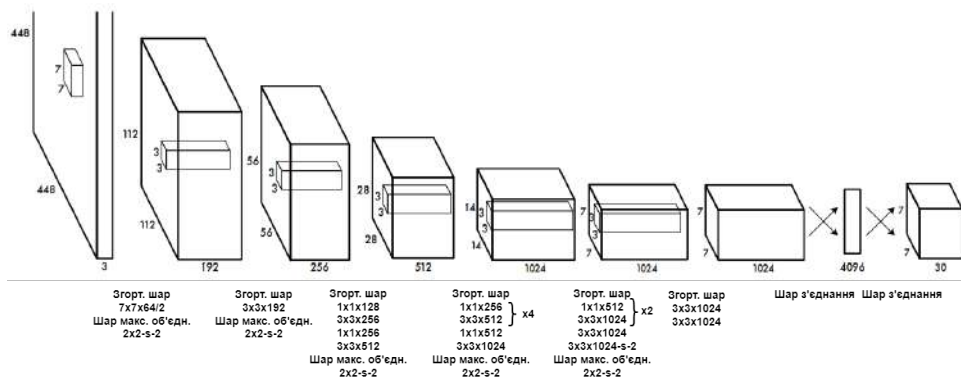


Рис. 12. Архітектура YOLO

YOLO має низку переваг перед іншими методами виявлення об'єктів [11]:

1. YOLO надзвичайно швидко. Оскільки ця нейронна мережа розглядає виявлення як регресійну задачу, їй не потрібен складний конвеєр.

2. По-друге, YOLO міркує глобально про зображення, коли робить прогнози. На відміну від методів, що базуються на ковзному вікні та регіональних пропозиціях, YOLO бачить все зображення під час навчання та тестування, тому він неявно кодує контекстну інформацію про класи та їхній вигляд.

Нейронна мережа YOLO

YOLO запам'ятовує узагальнені зображення об'єктів. Оскільки YOLO має високий рівень узагальнення, він менш схильний до збоїв при застосуванні до нових областей або несподіваних вхідних даних.

3. Поєднання методів

Поєднання методу Sea-thru та нейронної мережі YOLO забезпечує більшу ефективність в розпізнаванні об'єктів в підводному середовищі, порівняно з іншими нейронними мережами, на вхід яких подавалось оригінальне зображення. Метод Sea-Thru реконструює кольори на зображенні, що допомагає нейронній мережі YOLO краще виявляти та класифікувати об'єкти.

4. Результати

Тестування відбувалось на п'яти наборах даних [12]. Всі фотографії були зроблені при природньому освітленні, в форматі RAW та з постійною експозицією.

Порівняння результатів класифікації об'єктів нейронних мереж, на вхід яких подаються оригінальні зображення, та нейронної мережі YOLO, на вхід якої подається зображення, оброблене методом Sea-Thru, надано в таблиці 2.



Рис. 13. Блок-схема поєднання методів

Таблиця 1

Набори даних з картами дальності на основі SFM для кожного зображення

Набір	Сцена	Глибина	Вид	Вс	Тип води	#зображень	Камера	Лінзи
D1	Риф	10 м	Вниз	Низьке	Чиста	559	Sony α 7R Mk III	Sony FE 16–35 mm f/2.8GM
D2	Риф	10 м	Вниз	Високе	Чиста	318	Sony α 7R Mk III	Sony FE 16–35 mm f/2.8GM
D3	Риф	4 м	Всі	Низьке	Чиста	68	Sony α 7R Mk III	Sony FE 16–35 mm f/2.8GM
D4	Каньйон	4–9 м	Вниз	Високе	Мутна	153	Nikon D810	Nikkor 35 mm f1.8
D5	Риф	5 м	Прямо	Середнє	Чиста	59	Nikon D810	Nikkor 35 mm f1.8

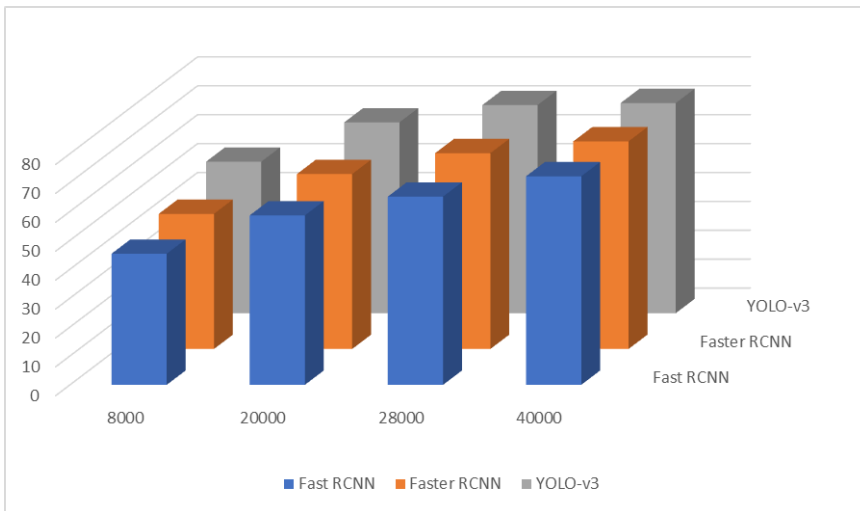


Рис. 13. Середня точність виявлення морських об'єктів

Висновки. Проведене дослідження мало на меті покращити системи комп'ютерного зору для автономних безпілотних підводних апаратів, використовуючи поєднання методу Sea-Thru та нейронної мережі YOLO. Метод Sea-thru, спрямований на компенсацію впливу води та ефективно відновлює втрачені кольори на підводних зображеннях. Це значно поліпшує точність розпізнавання об'єктів, оскільки нейронна мережа YOLO тепер може використовувати більш чіткі та якісні зображення для аналізу. Експериментальні результати показують, що поєднання Sea-thru та YOLO забезпечує більшу точність у розпізнаванні об'єктів порівняно з іншими методами, що використовують оригінальні підводні зображення. Відзначено, що середня точність виявлення об'єктів в підводному середовищі є вищою на різницю 0.5 до 9 відсотків.

Таблиця 2

Порівняння нейронних мереж виявлення, таких як, Fast RCNN, Faster RCNN, Faster RCNN і YOLO-V3 на основі точності та середньої точності (mAP)

Кількість ітерацій	Fast RCNN				Faster RCNN				YOLO-v3			
	mAP (%)	Точність (%)			mAP (%)	Точність (%)			mAP (%)	Точність (%)		
		Морський огірок	Морський їжак	Гребінець		Морський огірок	Морський їжак	Гребінець		Морський огірок	Морський їжак	Гребінець
4000	38.67	40.48	38.27	33.91	38.67	40.70	39.26	36.06	45.90	48.12	45.50	44.08
8000	45.35	48.67	45.85	41.52	46.76	48.85	47.35	44.08	52.40	54.56	53.14	49.51
12000	50.87	53.75	51.30	47.55	52.31	53.26	53.42	50.26	58.34	59.77	59.48	55.77
16000	55.04	58.85	54.92	51.34	57.39	59.86	56.98	55.34	62.02	64.09	62.50	59.47
20000	58.61	62.12	58.44	55.28	60.53	62.20	61.86	57.53	66.00	68.87	66.20	62.93
24000	61.45	64.57	62.39	57.39	64.25	65.58	64.67	62.51	68.88	71.50	70.54	64.60
28000	65.12	68.81	65.56	60.98	67.74	69.06	68.37	65.80	72.00	74.79	73.17	68.03
32000	67.72	70.75	68.83	63.58	69.24	71.45	69.47	66.79	72.24	74.47	73.78	68.47
36000	70.73	74.75	72.23	65.20	70.65	71.64	72.02	68.28	71.88	74.87	72.82	67.95
40000	72.14	75.46	73.58	67.38	71.83	72.78	73.13	69.58	72.69	75.55	73.70	68.83

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на покращення роботи в реальному часі, в умовах поганої видимості та її інтеграцію з АБПА. Підвищена точність і обробки зображень має велике значення для дослідницьких, промислових та воєнних задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Іванюк В. І., Потапова К. Р., Наливайчук М. В. Огляд нейронних мереж та стандартних алгоритмів обробки зображень в області комп'ютерного зору // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2023. № 15. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-15-9208>
2. Гуриченко, С. О. (2023) «Модельовання, CFD-розрахунків та оцінка гідродинамічних коефіцієнтів автономного безпілотного підводного апарата», *International Scientific Technical Journal «Problems of Control and Informatics»*, 67(6), с. 5–13. doi: 10.34229/1028-0979-2022-6-1.
3. Aurora Vision Documentation. URL: https://docs.adaptive-vision.com/current/studio/machine_vision_guide/BlobAnalysis.html (дата звернення: 28.09.2023)
4. Jia, T., Sun, N., & Cao, M. Moving object detection based on blob analysis. 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics. URL: https://www.researchgate.net/publication/238513594_Moving_object_detection_based_on_blob_analysis (дата звернення: 28.09.2023).
5. JOHN CANNY, A Computational Approach to Edge Detection, URL: https://perso.limsi.fr/vezien/PAPIERS_ACS/canny1986.pdf (дата звернення: 30.09.2023)
6. C. Harris and M. Stephens, A combined corner and edge detector, in *Alvey Vision Conference*, vol. 15, Manchester, UK, 1988. URL: <https://bmva-archive.org.uk/bmvc/1988/avc-88-023.pdf> (дата звернення: 02.10.2023).
7. A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” in *Advances in neural information processing systems*, 2012. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3065386> (дата звернення: 03.11.2023).
8. A. Gulli and S. Pal, *Deep Learning with Keras*, Birmingham: Packt, 2017, с. 190.
9. Derya Akkaynak, Tali Treibitz. Sea-thru: A Method For Removing Water From Underwater Images // *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019 p. 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/338514335_Sea-Thru_A_Method_for_Removing_Water_From_Underwater_Images (дата звернення: 04.10.2023).
10. Derya Akkaynak, Tali Treibitz. A Revised Underwater Image Formation Model // *In Proc. IEEE CVPR*. 2018. P. 6723–6726 URL: https://www.researchgate.net/publication/324113188_A_Revised_Underwater_Image_Formation_Model (дата звернення: 04.10.2023).
11. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection” P. 1–2. URL: https://www.cv-foundation.org/open-access/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf (дата звернення: 06.10.2023).
12. D. Berman, D. Levy, S. Avidan, and T. Treibitz. Underwater single image color restoration using haze-lines and a new quantitative dataset. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/339632700_Underwater_Single_Image_Color_Restoration_Using_Haze-Lines_and_a_New_Quantitative_Dataset (дата звернення: 15.11.2023).

REFERENCES:

1. Ivanjuk V. I., Potapova K. R., Nalyvajchuk M. V. Oghljad nejronnykh merezh ta standartnykh alghorytmiv obrobky zobrazhenj v oblasti komp'juternogho zoru // *Mizhnarodnyj naukovyj zhurnal «Internauka»*. 2023. № 15. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-15-9208>

2. Ghuryenko, S. O. (2023) “Modeljuvannja, CFD-rozrakhunok ta ocinka ghidrodynamichnykh koeficijentiv avtonomnogho bezpilotnogho pidvodnogho aparata”, International Scientific Technical Journal “Problems of Control and Informatics”, 67(6), c. 5–13. doi: 10.34229/1028-0979-2022-6-1.
 3. Aurora Vision Documentation. URL: https://docs.adaptive-vision.com/current/studio/machine_vision_guide/BlobAnalysis.html (accessed: 28.09.2023).
 4. Jia, T., Sun, N., & Cao, M. Moving object detection based on blob analysis. 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics. URL: https://www.researchgate.net/publication/238513594_Moving_object_detection_based_on_blob_analysis (accessed: 28.09.2023).
 5. JOHN CANNY, A Computational Approach to Edge Detection, URL: https://perso.limsi.fr/vezien/PAPIERS_ACS/canny1986.pdf (accessed: 30.09.2023).
 6. C. Harris and M. Stephens, A combined corner and edge detector, in Alvey Vision Conference, vol. 15, Manchester, UK, 1988. URL: <https://bmva-archive.org.uk/bmvc/1988/avc-88-023.pdf> (accessed: 02.10.2023).
 7. A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” in Advances in neural information processing systems, 2012. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3065386> (accessed: 03.11.2023).
 8. A. Gulli and S. Pal, Deep Learning with Keras, Birmingham: Packt, 2017, p. 190.
 9. Derya Akkaynak, Tali Treibitz. Sea-thru: A Method For Removing Water From Underwater Images // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019 p. 2 URL: https://www.researchgate.net/publication/338514335_Sea-Thru_A_Method_for_Removing_Water_From_Underwater_Images (accessed: 04.10.2023).
 10. Derya Akkaynak, Tali Treibitz. A Revised Underwater Image Formation Model // In Proc. IEEE CVPR. 2018. P. 6723-6726 URL: https://www.researchgate.net/publication/324113188_A_Revised_Underwater_Image_Formation_Model (accessed: 04.10.2023).
 11. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”. P.1-2. URL: https://www.cv-foundation.org/open-access/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf (accessed: 06.10.2023).
 12. D. Berman, D. Levy, S. Avidan, and T. Treibitz. Underwater single image color restoration using haze-lines and a new quantitative dataset. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/339632700_Underwater_Single_Image_Color_Restoration_Using_Haze-Lines_and_a_New_Quantitative_Dataset (accessed: 15.11.2023).
-

УДК 004.78.046

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.6>

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ DNS-СЕРВЕРА ТА DHCP-СЕРВЕРА

Кірюшин В. О. – магістр

Державного університету інформаційно-телекомунікаційних технологій

ORCID ID: 0009-0002-2369-4108

Лемешко А. В. – доктор філософії, доцент,

доцент кафедри комп'ютерної інженерії

Державного університету інформаційно-телекомунікаційних технологій

ORCID ID: 0000-0001-8003-3168

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

Рябокоть О. О. – магістр

Державного університету інформаційно-телекомунікаційних технологій

ORCID ID: 0009-0001-1356-6033

Макаренко Є. О. – магістр

Державного університету інформаційно-телекомунікаційних технологій

ORCID ID: 0009-0002-6666-3627

У статті розглянуто особливості DNS-серверів та DHCP-серверів. Наведено основні принципи роботи DNS-сервера та DHCP-сервера з IP-адресами. DNS і DHCP відносяться до архітектуру клієнт-сервер, і обидва сервери є важливими в службі IT-мережі для покращення та спрощення використання Інтернету. DNS складає деревину ієрархічну структуру, яка виводить повноцінне доменне ім'я за допомогою простору імен. DNS складається із трьох служб, де перший відповідає за ресурси і за простір імен, другий відповідає за сервери імен, третій за DNS-клієнтів. Ще одна служба який складає більш адміністративний простір, називають зоною DNS. DNS зони можна розділити на авторитетні та неавторитетні зони. Авторитетні DNS-сервер контролює відображення записів і відправляє певну і коректну інформацію до інших сервера, неавторитетний DNS-сервер не має місця для вхідних файлів і запам'ятовує лише попередній запит із раніше виконаних. DNS, використовуючи рекурсивний пошук, може надсилати запити на інший домен сервера, який має власну IP-адресу, і той самий запит буде повернуто. Сервер DHCP автоматизує налаштування та призначає IP-адресу та маску підмережі певному вузлу. У пулі не можна використовувати однакові типи адрес. За, яким принципом працюють протоколи IP-адрес в DHCP та від чого залежить MAC-адрес. Види режимів DHCP, які відносяться до системи клієнт-сервер. Для автоматичного розподілу IP-адрес в DHCP використовується функції DHCPDISCOVER, DHCPOFFER, DHCPREQUEST, DHCPACK. DHCPDISCOVER, DHCPOFFER, DHCPREQUEST, DHCPACK це етапи, які прив'язані до налаштування мережеских параметрів пристроїв у комп'ютерній мережі за допомогою протоколу DHCP. Перший етап DHCPDISCOVER більш пов'язаний для автоматичного налаштування мережеских параметрів пристроїв у комп'ютерній мережі, тобто пристрій DHCPDISCOVER надсилає запит до доступного DHCP-сервера для отримання IP-адреси. Другий етап DHCPOFFER більш пов'язаний з відповіддю DHCP-сервера на запити DHCPDISCOVER, тобто DHCP-сервер дозволяє вибрати IP-адресу й інші конфігурації. Третій етап DHCPREQUEST сягає на отримання підтвердження вибору однієї

або декількох IP-адрес від DHCP OFFER. Четвертий етап DHCP ACK, являється підтвердженням вже налаштованої конфігурації та IP-адреси.

Ключові слова: DNS-адреса, домене ім'я, ієрархія DNS, DHCP-адреса, IP-адреса, MAC-адреса.

Kiryushin V. O., Lemeshko A. V., Antonenko A. V., Riabokon O. O., Makarenko Ye. O. Features of functionality of DNS-server and DHCP-server

The article compares the difference between a DNS server and a DHCP server. The basic principles of DNS server and DHCP server with IP addresses are considered. DNS and DHCP refer to the client-server architecture, and both servers are important in IT network service to improve and simplify the use of the Internet. DNS builds a hierarchical tree structure that resolves a fully qualified domain name using a namespace. DNS consists of three services, where the first is responsible for resources and namespaces, the second is responsible for name servers, and the third is for DNS clients. Another service that makes up a more administrative space is called the DNS zone. DNS zones can be divided into authoritative and non-authoritative zones. The authoritative DNS server controls the display of records and sends certain and correct information to other servers, the non-authoritative DNS server has no place for incoming files and remembers only the previous request from the previously executed ones. DNS, using recursive lookup, can query another server domain that has its own IP address and the same query will be returned. A DHCP server automates the configuration and assigns an IP address and subnet mask to a specific host. The same address types cannot be used in a pool. By what principle do the IP address protocols in DHCP work and what does the MAC address depend on. Types of DHCP modes related to the client-server system. DHCPDISCOVER, DHCP OFFER, DHCPREQUEST, DHCPACK functions are used for automatic distribution of IP addresses in DHCP. DHCPDISCOVER, DHCP OFFER, DHCPREQUEST, DHCPACK are steps that are related to configuring the network parameters of devices in a computer network using the DHCP protocol. The first stage of DHCPDISCOVER is more related to automatically configure the network parameters of devices on a computer network, that is, the DHCPDISCOVER device sends a request to an available DHCP server to obtain an IP address. The second stage of DHCP OFFER is more related to the DHCP server's response to DHCPDISCOVER requests, that is, the DHCP server allows you to choose an IP address and other configurations. The third stage of the DHCPREQUEST involves receiving confirmation of the selection of one or more IP addresses from the DHCP OFFER. The fourth stage, DHCPACK, is a confirmation of the already configured configuration and IP address

Key words: DNS Address, Domain Name, DNS Hierarchy, DHCP Address, IP Address, MAC Addresses.

Вступ. DNS-сервера досить доступний протокол, тому що через інтернет, хакери при злому домену, можуть залишити фейкову рекламу в якому може буде вірус, або може через IP-адрес сайту викрасти дані користувача який володіє веб-сайтом. Деякі хакери можуть мати при собі домен популярного сайту до якого користувачі часто звертаються, і за допомогою фейкового сайту хакери можуть отримати доступ до інформації користувача. DNS-сервера контролюється однією країною і однією організацією ICANN, який являється підприємницькою організацією, недолік в тому, якщо права зміняться в країні то і організація змінить свої обов'язки. DNS-сервера пов'язані між собою і утворюють ієрархію, в якому є головний DNS-сервер контролює інші DNS-сервера, тому можна назвати це недоліком, наприклад, якщо головний DNS-сервер вийшов з ладу, то інші DNS-сервера теж відключаються, тому що не зможуть відправити відповіді до головного DNS-сервер [1–3].

Постановка проблеми. Незалежно від DNS-сервера, недоліки DHCP-сервера більше пов'язана, до налаштування конфігурації, якщо сервера, які належать до однієї мережі не будуть налаштовані, і при цьому включені, то обладнання не буде, як слід працювати. Доступ до IP-адрес може прийти неавторизованим, оскільки DHCP-сервер у якому нема безпечного механізму для проходження автентифікації, користувач не зможе отримати доступ до облікових даних, так як ідентифікація буде належати іншим користувачам DHCP-сервера. При призначенні нової IP-адреси, перейменування не змінюється [4, 5].

Найбільш поширена проблема для DNS-сервера і DHCP-сервер являються DDoS-атаки. Під час атаки на DNS-сервера або DHCP-сервер, сервер може бути перезавантажений запитами, що може призвести до його несправності та відмови в обслуговуванні користувачів, підключених до мережі. У разі атаки на DHCP-сервер, клієнти можуть не отримувати IP-адреса та не мати змоги підключитись до мережі, та використовувати її ресурси. Атаки на DNS-сервер, можуть призвести до того, що користувачі не зможуть отримати доступ до веб-сайту сторінок, електронної пошти, та інших сервісів, які використовують імена доменів [6].

Мета дослідження. Метою даного дослідження є розкриття й аналіз різниць технологічних відмінностей DNS-сервера та DHCP-сервера з метою з'ясування їх ролей та важливості в комп'ютерній мережах та середі.

Об'єктом дослідження є DNS-сервер і DHCP-сервер, які забезпечують оптимальну роботу для комп'ютерних мереж.

Предметом дослідження є технологічні характеристики та функціональні відмінності між сервером DNS та сервером DHCP, і їх вплив на роботу мережі.

Методи дослідження полягає на вивчення наукових книг, статті, публікацій в соціальних мережах та технічних характеристиках, що стосуються до DNS-сервера та DHCP-сервера.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження над DNS, DHCP і IP проводили такі інострани вчені, як Deland-Han, Pradana, Dio Aditya, Ade Surya Budiman, Huchue, Schmon, Ralf Dolmans, Paul Vihieu, Volz, Bernie, Tomek Mrugalski, Carlos Jesus Bernardos, Paul, Arnob, H. M. Mohidul Islam, Shohrab Hossain, Husnu S. Narman, Ted Lemon, Stuart Cheshire, Moura, Giovane Cesar Moreira, Sebastian Castro, Wes Hardaker, Maarten Wullink, Cristian Hesselman, Aldaoud, Manar, Dawood Al-Abri, Ahmed Al-Maashri, Firdous Kausar [7-16].

Теоретичні відомості, які описують визначення і функції DNS, DHCP, IP та MAC-адрес, вчені в своїх книгах, як Є. Бузова, В.А., (Данілова, В.В Шликов), В. В. Поліщука, (А. Г. Микитишин, Митник М. М., П. Д. Стухляк, В. В. Пасічник), Гончаренко Ю. О. Відомості про основні проблеми DNS і DHCP розглядають такі автори, як Трайдакало М. О. та Джунаїд Р. [16–22].

Виклад основного матеріалу дослідження. Сервер DNS може визначати та перевіряти доменні імена в числову IP-адресу. Саме серверні доменні імена є групою мережевих вузлів, які взаємодіють між собою і утворюють ієрархію в якому визначається рівень домену. Рівні домену поділяються на частини, кожна частина описує певний рівень, а всього їх три, і поділяються рівні через кореневий домен, це називається простором імен, що утворює деревинну структуру рівнів (рис. 1).

Перший рівень домену більш поділяється на зони, тому деякі ім'я можуть вказувати на територіальну приналежність даного ресурс. В домену першого рівня є три категорії імен:

- Загальні імена – com, edu, biz, на даний момент їх 21.
- Імена, які зареєстровані в відповідних країнах, називають двобуквеними, тобто домене ім'я, яке передбачається в Україні називають просто ua.
- ARPA зворотне домене ім'я яке виводить повне ім'я вузла IP-адреса.

Другий рівень домену відноситься до найменування унікального імені, в котрій комбінують букви за для легкого запам'ятовування і читання.

Третій рівень домену більш закріплений до ім'я другого рівня, тому певний суб'єкт може мати декілька адрес на базі основного найменування.

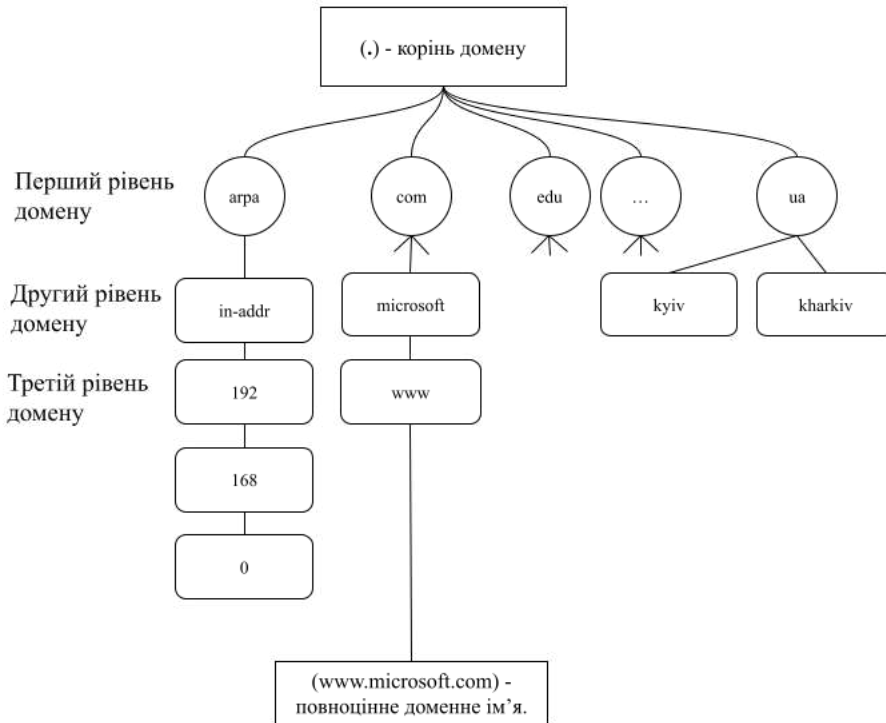


Рис. 1. Ієрархічна структура DNS

Серверні імена DNS відносяться до комп'ютерів, в яких зберігаються частини бази даних імен DNS, і за це все відповідає програмне забезпечення, в якому обробляються запити DNS-клієнтів на дозвіл та надає відповідь на отриманий запит (рис. 2).

Етапи роботи DNS-сервера:

1. Користувач передає ім'я хоста до клієнта передачі файлів.
2. Через клієнт передачі файлів передає ім'я хоста до DNS-клієнта.
3. DNS-клієнт надсилає запит до DNS-сервера, де приймає ім'я хоста, і виділяє вже відому IP-адресу.
4. DNS-сервер надсилає відповідь у вигляді IP-адресу до DNS-клієнта.
5. DNS-клієнт передає IP-адресу до клієнту передачі файлів.
6. Вже отриманий IP-адрес використовується клієнтом, щоб надати доступ до серверної передачі файлів.

DNS-клієнт на самперед – це мережевий вузол, який звертається до DNS-серверу, щоб отримати дозвіл від імені вузла до IP-адреси, і навпаки, IP-адреси до імені вузла. Зонаю DNS визначають певну частину DNS-імені в системі доменних імен, її ще називають адміністративною, тому що деякі компоненти DNS контролюються більш детально; DNS Зона може розбитися на різні зони, які будуть чітко контролювати області простору DNS-імен; зона DNS містить у собі кілька імен із третього рівня, і в одному сервері містяться декілька зон. Зона відповідає за реплікацію даних між серверами DNS, де кожна містить у собі певні одиниці ресурсних записів для відповідних доменів. DHCP відрізняється від DNS, але в DHCP може інтегрувати DNS при цьому використовувати динамічну реєстрацію для видання IP-адреса і домену до мережевих вузлів (рис. 3).

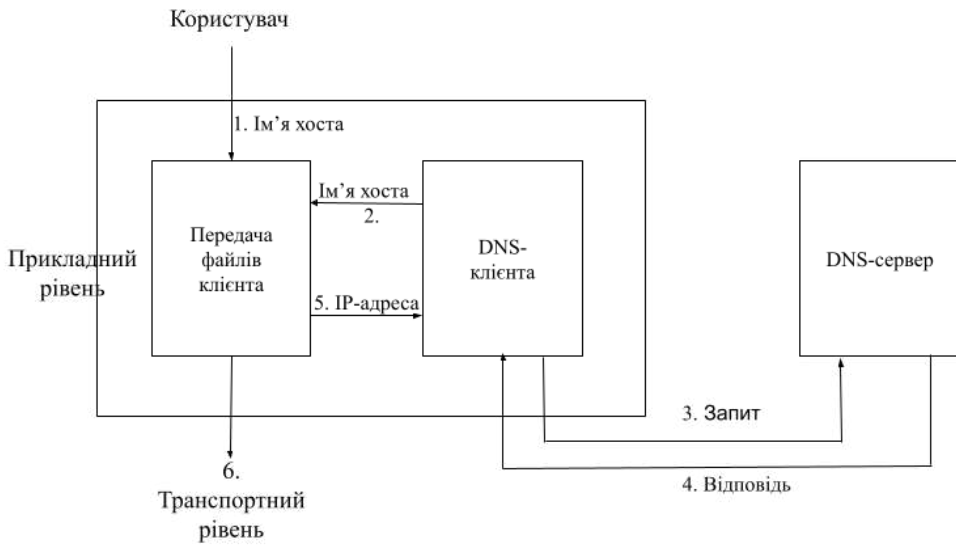


Рис. 2. Принципи роботи DNS-сервера

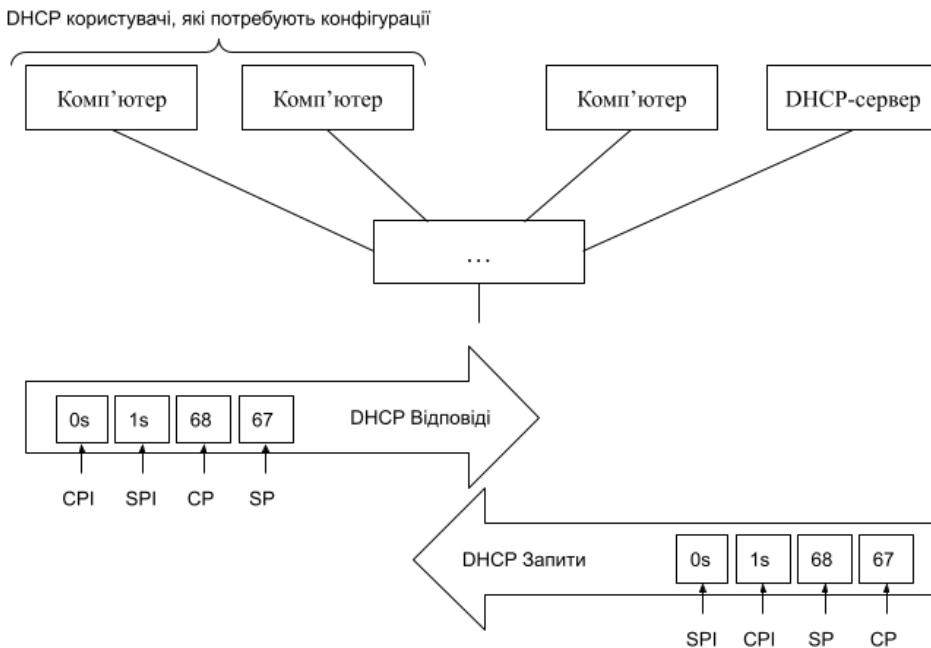


Рис. 3. Принципи роботи DHCP-сервера в мережевій структурі

Сама функція DHCP покращує та спрощує роботу IP-мережі, за такими принципами, як управління і налаштування для об'єднання мережеских вузлів. DHCP, містить у собі компоненти, які реалізують роботу даного сервера, це протокол, який надає через DHCP-сервер певні параметри конфігурації до певного вузла,

і механізм, який призначає між вузлами певну мережеву адресу, де СІР – це ІР-адреса користувача, SІР-ІР-адреса сервера. СР-порт користувача, SP-порт сервера. DHCP може працювати в трьох режимах: динамічному розподілі, автоматичному виділенні та статичному розподілі. У динамічному режимі, адміністратор призначає діапазон ІР-адрес на DHCP-сервері, а кожен клієнт повинен запитати ІР-адресу від сервера. Якщо термін оренди закінчується і не продовжується, DHCP-сервер може повернути адресу і призначити її іншому комп'ютеру.

У режимі автоматичного виділення, DHCP-сервер постійно призначатиме вільний ІР-адрес з діапазону, встановленого адміністратором, запитуючому комп'ютеру. Основна відмінність з динамічним режимом полягає у тому, що сервер зберігає записи минулих завдань ІР і намагається надати ту саму адресу із пулу, тому ж комп'ютеру для майбутніх підключень до мережі.

Протокол DHCP сконструйований з такою можливістю, що клієнт може надсилати запити до кількох серверів одночасно. Пул адрес DHCP залежить від групи ІР-адрес, у якій налаштована мережева конфігурація, оскільки сервер DHCP вибере кілька ІР-адрес із пулу для призначення користувачам DHCP (рис. 4). Клієнт DHCP, який потребує присвоєння адреси, надсилає широкомовний пакет DHCPDISCOVER для пошуку сервера. У пакеті міститься апаратна адреса клієнта. Один або кілька серверів DHCP оброблюють запити та відповідають пакетом DHCPPOFFER, який містить запропоновану ІР-адресу та «час оренди». Після отримання пакетів DHCPPOFFER клієнт обирає адресу для свого призначення, віддаючи перевагу адресі з найбільшим часом оренди, Після цього клієнт відправляє пакет DHCPREQUEST, з адресою вибраного сервера. Далі, вибір адреси клієнтом, який відправляє на підтвердження в вибраний сервер у пакеті DHCPACK і процес налагодження завершується. У пакеті DHCPACK містяться надані адреси та година оренди. Сервер позначає виділену адресу як зайняту, і до закінчення

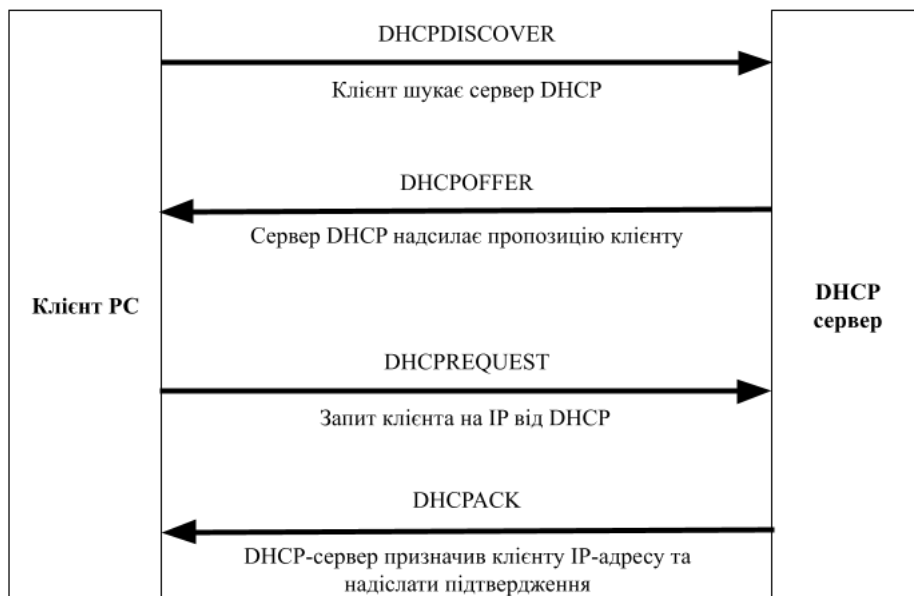


Рис. 4. Принцип роботи автоматичного призначення IP-адреси

терміну оренди іншому клієнту цю адресу не можна буде присвоїти. Клієнт залишається лише налаштувати свої параметри відповідно до даних і може приступати до роботи в мережі.

У режимі статичного розподілу, сервер DHCP призначає IP-адреси виключно на основі таблиці MAC-адрес, заповненої вручну адміністратором. Якщо MAC-адрес комп'ютера не зазначено в таблиці, то йому не буде призначена мережева адреса. IP являється інтернет-протоколом, від якого присвоюють пристрою, який підключений до мережі, і кожен пристрій використовує свою призначену IP-адресу для зв'язку з іншими пристроями, які теж підключені до однієї мережі. Тому IP-адреса використовується, як ідентифікатор пристрою даної мережі. IP-адреса може виглядати, як мережева адреса, так і адреса вузлу. Протокол IP-адреса поділяється на два типи версій, IPv4 та IPv6. Протокол IPv4 найбільш популярніша, тому що більш легка в застосуванні; четверта версія IP являється 32-розрядною адресую, яка складається з чотирьох чисел, і між цими числами лежить крапка, яка виконує функцію розділення. Протокол IPv6 являється 128-розрядною адресую з 8 блоків, які розділені двокрапкою; протокол IPv6 містить простий заголовок, так і надає великий простір.

Маска адреси – це підмережа, яка представляється в двійковому форматі, і описує частину протоколу IP-адреси для розрізнення комп'ютерних мереж; за допомогою маски адреси, комп'ютери можуть спілкуватися один з одним у двійковому форматі, якщо комп'ютери підключені до однієї мережі. За виявленням IP-адреси та маскою адреси виходить повністю настроєна конфігурація, який називається MAC-адресом. DNS-сервер може підтримувати протокол UDP і TCP але підключається до порту 53, який відповідає на запити користувачів, тоді як DHCP-сервер підтримує тільки один протокол UDP з двома портами, 67 який відповідає за сервер і 68 призначений для користувача (табл. 1).

Таблиця 1

Різниця в функціональності DNS, DHCP серверів

DNS-сервер	DHCP-сервер
Система доменних імен	Протокол динамічної конфігурація вузлів
Підтримує UDP і TCP	Протокол UDP, підтримується за допомогою DHCP
Працює на порту 53 .	Працює від портів 67, 68
Відповідає на запити суб'єкта	Відповідає за призначення тимчасової оренди IP-адреси до суб'єкта
Децентралізована система, яка відповідає за ієрархічним розподілом та збереженням інформації	Централізована система, яка відповідає за надання IP-адреси з пулу до суб'єкта

Реалізація DNS-сервера постає від запитів користувачів в основі вводу IP-адреси або домену імені сайту, і отримання результату від відповіді запиту. В DHCP-сервер зовсім по іншому, DHCP дає тимчасові IP-адреси користувачам тим самим орендуєчи IP-адресу, і продовження терміну оренди, якщо користувач заплатив. DNS-сервер, який знаходиться в центральному управлінні, перерозподіляє повноваження доменних імен, тобто люба інформація, яка не знаходиться але входить до складу DNS-сервера, розподіляється на ієрархію, яка поділяється на основну і звичайну, де основна інформація залишається на місці, а звичайна

інформація відправляється в інше місце. Залежно від DNS-сервера, DHCP-сервер являється центральною системою від якого інформація обробляється та подається у вигляді IP-адреси до користувача який знаходиться в мережі.

Висновки. Підсумовуючи, DNS-сервер та DHCP-сервер кожен використовує свої техніки для зручності роботи з мережею або інтернетом. DNS-сервер усуває складні числові IP-адреси і використовує більш зручний формат для читання, перетворюючи його у домене ім'я. DHCP-сервер по більшій частині скорочує у мережі, трудовий процес конфігурації, який виконується вручну, і на даний момент процес конфігурації виконується автоматично. Основна різниця між цими протоколами відбувається в їх функціональності. DNS дозволяє вирішувати доменні імена в IP-адресі, тоді як DHCP забезпечує автоматичне налаштування параметрів мережі для комп'ютерів. Обидва протоколи є маленькі для роботи в комп'ютерних мережах і можуть стати об'єктом атаки, наприклад DDoS-атаки, що може призвести до перерви в робочій мережі та знизити її продуктивність. Для автоматичного призначення IP-адреси використовується запити DHCPDISCOVER від яких можна отримати декілька пропозицій від серверів. Для вибору адреси клієнт відправляє відповідь у пакеті DHCPREQUEST з ідентифікатором вибраного сервера. Інші сервери перевіряють цей пакет і позначають ваші пропозиції як відкинуті на основі ідентифікатора сервера. Цим забезпечується вільність запропонованих IP-адрес для інших клієнтів. У випадку, якщо сервер не може прийняти конфігурацію від клієнта, він відправляє пакет DHCPNAK, який сигналізує про відмову у підтвердженні. Це змушує клієнта розпочати процес узгодження заново. Цей механізм дозволяє забезпечити коректну роботу мережі та підтримувати її стабільність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Буров Євген. Книга «Комп'ютерні мережі». 1999. 130–132.
2. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Навчальний посібник для вищих навчальних закладах «Магнолія 2006». Книга 1-ша «Комп'ютерні мережі». 2013. 133–142.
3. Гончаренко Ю.О. Система веб-інтерфейсу для роботи з мережевими каталогами. Кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного ступеня «бакалавр». спец. 123 «Комп'ютерна інженерія». ЧНУ ім. Петра Могили. 2022. 20–23.
4. Данілов В. А., Шликов В. В. Протокол DHCP. Телемедицина та комп'ютерні мережі: Лабораторний практикум cisco packet tracer. Навчальний посібник для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія». 2021. 27–31.
5. Поліщук В.В. Адміністрування комп'ютерних мереж. Методичне видання. 2019. 35–39.
6. Garcia, E., & Martinez, L. Аналіз продуктивності серверів DNS та DHCP. Збірка матеріалів Міжнародної конференції з мережевих технологій (ICN). 2018. 103–115.
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.
8. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, (1). 2023,
9. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (1). 2023.

10. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (5). 2022.
11. Петрова О. Аналіз вразливостей мережі DNS і DHCP у контексті атак типу DoS. Журнал «Мережеві технології та безпека». 2(15). 2021. 78–87.
12. Марченко Т.М. Аналіз і порівняльна оцінка переваг та недоліків використання DNS та DHCP в корпоративних мережах. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в сучасному світі». 2020. 45–51.
13. Мартинова О. Принципи роботи та порівняння TCP та UDP. Мережеві технології та безпека. 3(15). 2021. 34–41.
14. Петренко В. Розподільча служба DHCP: Огляд та основні принципи роботи. Комп'ютерна безпека та захист інформації. 2022. 1(20). 34–42.
15. Кравченко І. Принципи та функції DHCP-сервера в мережах. Мережеві технології та безпека. 3(14). 2020. 42–51.
16. Марченко О. Аналіз і заходи захисту від DoS-атак в мережах DNS і DHCP. Комп'ютерні комунікації та мережі. 1(16). 2023. 68–77.
17. Михайлов В. Застосування TCP та UDP у сучасних мережах зв'язку. Інформаційні технології та кібербезпека. 2(20). 2022. 52–59.
18. Петренко В. Роль та функціональність DNS-сервера в мережах. Інформаційні технології і кібербезпека. 2(18). 2022. 34–41.
19. Черниш О. Огляд та функціональні аспекти роботи DNS-сервера. Технічні науки та технології. 1(19). 2023. 56–63.
20. Черниш О. DHCP-сервер: Роль та можливості в сучасних мережах. Журнал комп'ютерних наук. 4(28). 2022. 90–97.
21. Aldaoud, Manar, Dawood Al-Abri, Ahmed Al-Maashri and Firdous Kausar. «Інструменти DHCP-атаки: аналіз». Журнал комп'ютерної вірусології та методів злову. 2021. 1–11.
22. Шевченко О. DNS і DHCP: Порівняння та відмінності у функціональності. Інженерія інформаційної безпеки. 1(13). 2022. 38–45.

REFERENCES:

1. Burov, Y. (1999). Book "Computer Networks". Pages 130–132 [in Ukrainian].
2. Mykytyshyn, A. G., Mytnik, M. M., Stukhlyak, P. D., Pasichnyk, V. V. (2013). Textbook for higher educational institutions "Computer Networks". Book 1. Pages 133–142 [in Ukrainian].
3. Honcharenko, Yu.O. (2022). Web Interface System for Working with Network Directories. Bachelor's thesis. ChNU named after Petro Mohyla. Pages 20–23 [in Ukrainian].
4. Danilov, V. A., Shlykov, V. V. (2021). DHCP Protocol. Telematics and Computer Networks: Cisco Packet Tracer Lab Manual for Students of Biomedical Engineering. Pages 27–31 [in Ukrainian].
5. Polischuk, V. V. (2019). Network Administration. Methodical publication. Pages 35–39 [in Ukrainian].
6. Garcia, E., & Martinez, L. (2018). Analysis of DNS and DHCP Server Performance. Proceedings of the International Conference on Networking (ICN), 103–115 [in Ukrainian].
7. Tverdokhlib A.O., Korotin D.S. (2022) Efektyvnist funktsionuvannya kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. Tavriyskiy naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky, (6) [in Ukrainian].
8. Tsyvk O.S. (2023) Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky, (1) [in Ukrainian].

9. Novichenko Ye.O. (2023) Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohistychnykh tsestriv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, (1) [in Ukrainian].
 10. Zaitsev Ye.O. (2022) Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky, (5) [in Ukrainian].
 11. Petrova, O. (2021). Analysis of Vulnerabilities in DNS and DHCP Networks in the Context of DoS Attacks. *Journal of "Network Technologies and Security"*, 2 (15), 78–87 [in Ukrainian].
 12. Marchenko, T.M. (2020). Analysis and Comparative Evaluation of the Advantages and Disadvantages of Using DNS and DHCP in Corporate Networks. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies in the Modern World"*, 45–51 [in Ukrainian].
 13. Martynova, O. (2021). Principles of Operation and Comparison of TCP and UDP. *Journal of "Network Technologies and Security"*, 3 (15), 34–41 [in Ukrainian].
 14. Petrenko, V. (2022). DHCP Service Overview and Basic Operation Principles. *Journal of "Computer Security and Information Protection"*, 1 (20), 34–42 [in Ukrainian].
 15. Kravchenko, I. (2020). Principles and Functions of DHCP Server in Networks. *Journal of "Network Technologies and Security"*, 3 (14), 42–51 [in Ukrainian].
 16. Marchenko, O. (2023). Analysis and Measures to Protect Against DoS Attacks in DNS and DHCP Networks. *Journal of "Computer Communications and Networks"*, 1 (16), 68–77 [in Ukrainian].
 17. Mykhailov, V. (2022). Application of TCP and UDP in Modern Communication Networks. *Journal of "Information Technologies and Cybersecurity"*, 2 (20), 52–59 [in Ukrainian].
 18. Petrenko, V. (2022). The Role and Functionality of DNS Servers in Networks. *Journal of "Information Technologies and Cybersecurity"*, 2(18), 34–41 [in Ukrainian].
 19. Chernish, O. (2023). Overview and Functional Aspects of DNS Server Operation. *Journal of "Technical Sciences and Technologies"*, 1(19), 56–63 [in Ukrainian].
 20. Chernish, O. (2022). DHCP Server: Role and Capabilities in Modern Networks. *Journal of "Computer Sciences"*, 4(28), 90–97 [in Ukrainian].
 21. Aldaoud, M., Al-Abri, D., Al-Maashri, A., & Kausar, F. (2021). Tools for DHCP Attacks: An Analysis. *Journal of "Computer Virology and Hacking Methods"*, 1–11 [in Ukrainian].
 22. Shevchenko, O. (2022). DNS and DHCP: Comparison and Differences in Functionality. *Journal of "Information Security Engineering"*, 1 (13), 38–45 [in Ukrainian].
-

UDC 004.021

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.7>

CONCEPT OF BUILDING A LIBRARY OF TASKS AND SOLUTIONS

Paulin O. M. – Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Software Engineering
National University “Odesa Polytechnic”
ORCID ID: 0000-0002-2210-8317

Komleva N. O. – Doctor in Engineering, Associate Professor,
Head of the Department of Software Engineering
National University “Odesa Polytechnic”
ORCID ID: 0000-0001-9627-8530

Nikitchenko M. I. – Graduate Student
National University “Odesa Polytechnic”
ORCID ID: 0009-0007-9560-7057

The article develops the concept of building a library of tasks and their solutions in the form of computational processes (CPs) and Petri nets (PNs) with the preliminary transformation of CPs into PNs. The conversion includes the extraction of macro operations (MOs) from CPs as a result of their analysis, the construction of PNs and their fragments as models of CPs and MOs, and the modeling of PNs and their fragments. The architecture, structure and interface of the library are proposed.

Computational process is a sequence of time-ordered operations and procedures of varying degrees of complexity. The set of PNs, as well as the set of problems for which PNs are solutions, is divided into classes and subclasses. A class includes problems such as Combinatorial, Linear Algebraic Equations, etc.; the Combinatorial class includes subclasses of problems such as Sorting, Search, Sets, Graphs, etc. A macro operation is a fragment of a GP that is a functionally complete computational construct. MOs can have different levels of complexity, starting with the elementary one; they can be built hierarchically. A Petri net is a bipartite graph with two interconnected objects: event-condition, process-resource, etc. Fragments of the PN are models of the MO.

The components of the library are tree nodes supplemented with files of their verbal descriptions built according to certain rules.

The architecture, structure, interface, and operations of the library provide convenient management, editing, and expansion of knowledge about computational processes and macro operations, making the library open for further research and development by the developer. All files are available to the user; but without the right to edit.

The paper presents an example of the initial filling of the library for the Sorting task.

Key words: concept, library, architecture, structure, tree, task, subtask, tree component, verbal description, computational process, macro operation, Petri net, Petri net fragment, modeling, example.

Паулін О. М., Комлева Н. О., Нікітченко М. І. Концепція побудови бібліотеки задач та рішень

У статті розроблено концепцію побудови бібліотеки задач та їхніх розв'язків у вигляді обчислювальних процесів (ОП) і мереж Петрі (МП) з попереднім перетворенням ОП у МП. Перетворення охоплює виділення макрооперацій (МО) із ОП у результаті їхнього аналізу, побудову МП і їхніх фрагментів як моделей ОП і МО, а також моделювання МП і їхніх фрагментів. Пропонуються архітектура, структура та інтерфейс бібліотеки.

Обчислювальний процес – послідовність упорядкованих у часі операцій і процедур різного ступеня складності. Безліч МП, як і безліч задач, для яких МП є рішеннями, розбивається на класи та підкласи. До класу входять задачі «Комбінаторні», «Лінійні алгебраїчні рівняння» тощо; до класу «Комбінаторні» входять підкласи задач

«Сортування», «Пошук», «Множини», «Графи» тощо. Макрооперацією називатимемо фрагмент ОП, що являє собою функціонально закінчену обчислювальну конструкцію. МО можуть мати різний рівень складності, починаючи з елементарного; вони можуть бути збудовані ієрархічно. Мережа Петрі – дводольний граф із двома взаємопов'язаними об'єктами: подія-умова, процес-ресурс тощо. Фрагменти МП є моделями МО.

Компонентами бібліотеки є вузли дерева, доповнені файлами їхніх словесних описів, побудованих за певними правилами.

Архітектура, структура, інтерфейс та операції бібліотеки забезпечують зручне управління, редагування та розширення знань про обчислювальні процеси та макрооперації, роблячи бібліотеку відкритою для подальших досліджень і розвитку розробником. Користувачеві доступні всі файли, але без права редагування.

У роботі наведено приклад первинного заповнення бібліотеки для задачі «Сортування».

Ключові слова: концепція, бібліотека, архітектура, структура, інтерфейс, дерево, задача, підзадача, компонент дерева, словесний опис, обчислювальний процес, макрооперація, мережа Петрі, фрагмент мережі Петрі, моделювання, приклад.

Introduction. In general, a computational process (CP) is understood as a sequence of time-ordered operations and procedures of varying complexity. The computational process must necessarily form the basis of software, since it largely determines the quality of software. There can be many program implementations for one CP taking into account different technologies and programming languages. That is why it is important to build CP qualitatively. However, at present there are no quality standards for CP.

Traditionally, the quality of CP is defined by the absence of errors and the level of optimality. Among the types of possible errors are looping, freezing, as well as emergency stop of the CP in case of fatal errors, for example, division by zero. Optimization of CP is most often carried out by the criterion of minimum complexity.

Indirectly, the quality of this CP can be judged by analyzing the program developed on its basis for compliance with the requirements according to ISO 12207, ISO 9000, CMM standards. Non-compliance with such requirements leads to the necessity of error correction, re-engineering and repeated testing of the program code, which requires additional resources, including time, and is much more expensive than error elimination at the initial stage of development. However, in practice the development of a quality CP, as the basis of quality software, is not always given due attention, which causes the described problems. That is why the construction of quality CP is topical.

An effective way to improve the CP is to model it, and different approaches and tools are used [1].

In this paper we propose a new approach, which consists in breaking down the CP into elementary computational processes/constructions, modeling and debugging of these constructions by Petri nets, final assembly of separate constructions into a complete network corresponding to the whole CP, and its modeling. The application of this approach allows to increase the quality of CP and, accordingly, the quality of its program implementations.

With all the variety of CPs there is a possibility of their formalization, which allows to choose a tool for description and further analysis of these processes. In the best known tools (finite automata, SWITCH-technology, Petri nets, unified modeling language – UML) were reviewed and analyzed; it was concluded that Petri nets have significantly greater expressiveness of their language, as they occupy [2] an intermediate position between a finite automaton and a Turing machine. Petri nets reflect the mutual dependence “event-condition” (“process-resource”), which makes it possible to use them widely for modeling. In [3], in particular, a review and analysis of applications of Petri nets for the last 25 years is carried out.

As can be seen from the analysis, despite the rather large range of topics of works, the authors have not made attempts to adjust the original CP algorithm using Petri nets built on their basis as a tool to improve the quality of CP.

The aim of the work is to improve the quality of CPs by selecting the concept of building a library of CPs and their models based on Petri net.

In order to achieve this goal, the following objectives should be accomplished:

- development of the library architecture;
- development of the library structure.

It should be noted that in [1] the rules of macrooperations (MO) extraction from the CP were formulated, the method of building the model of MO and CP on the basis of PN was developed; the method is realized in the form of a procedure, which at each stage reproduces one of the operations of the method. The procedure interacts with the library. The rules for transforming MO into a fragment of PN and assembling a complete PN from fragments are proposed.

Main part

1. Preliminary information

Let's introduce some definitions and provisions for consideration.

Definition 1: An elementary computational process (ECP) is a minimal functionally complete computational process.

In this paper, the term “computation” is understood in a broad sense: computation is the processing of a variety of data, from the simplest to multimedia data. The only limitation for CP is that there must be an algorithm for it, i.e. CP must satisfy the following requirements: definiteness, convergence and mass.

The quality of an CP is understood not only as the absence of gross errors (freezing, looping, etc.), but also as its optimality in the sense of minimum complexity. Optimality is achieved by eliminating repetitions, rearranging modules, etc., as well as by special techniques (e.g., splitting a task into subtasks and balancing them).

Definition 2. We will call a macrooperation (MO) a fragment of an CP (elementary and more complex functionally complete computational constructs) arranged hierarchically.

MOs include simple arithmetic and logical operations and expressions at the lower level, and permutations of array elements, shifts of sequence elements, comparison of table rows/columns, etc. at the next level. Thus, for all sorts, the MO “compare and rearrange” for each pair of elements of the sorted sequence is characteristic. In this case, the formation of a particular pair of elements is determined by the sorting method, but this is the next level. Note that sorting itself can be considered as an MO of a higher hierarchy level.

CP can be represented in the form of two components: computing and controlling. The first component is macro-operations, which are functionally complete operations of different hierarchical levels. The second component provides the organization of CP control, i.e. building the process in a certain order. We have proposed the following elements of CP control: following, selection and transition; the theorem of functional completeness of these control elements (CE) has been proved. From CEs we can construct the known control structures: alternative and cycles of three kinds: counting, conditional of the 1st kind (with precondition) and conditional of the 2nd kind (with postcondition). Thus, the theorem is fundamental: it allows us to formalize the recording of CPs and opens the possibility of constructing the algebra of control structures.

Note that control structures (composition, alternative, iteration and more complex structures) can be embedded in MOs. Thus, a simple insertion sorting can be considered as an MO of the 3rd level of hierarchy with two cycles controlling the sorting process.

Assertion. Any CP can be represented by a collection of a relatively small number of MOs and governance elements/structures.

In accordance with the proposed approach for the developed method of constructing an CP model on the basis of PN (PN-model), it provides the operations of decomposition of CP into ECPs, their debugging on the corresponding Petri net, assembly of the complete network and its modeling. The essence of the method consists in the sequential transformation of CP into PN and modeling of the resulting network.

2. Development of a library of the CP\MO and their PN-models

The library is intended for storing debugged CPs and MOs (CP\MOs), their PN-based models (PN-models) and descriptions, and the filling and editing of library components are operations external to the library. The library is based on the classification represented by a tree; the main sign of the library classification is the class of solved problems. The library is open for extension.

The following provisions are utilized in the construction of the MO library:

- the library is built hierarchically according to the classification of tasks;
- library contains knowledge about the problem, their solution methods, as well as files of the problem solution in general form;
- components of the library are the category of the problem, its type (class), genus (solution method) and corresponding description files, including solution files (CP\MOs and their PN-models).

Knowledge is formed by expanding the tree structure by attributing descriptions to its nodes in the form of theoretical material corresponding to the node name (Name + Attributes/parameters). This material includes: brief theoretical information and references to sources, where you can learn more about the essence of the problem and methods of its solution.

2.1. The architecture of the library of CP\MOs and their PN-models

The library includes an open part, which is accessible to the user, and a closed part, which is maintained by the developer.

The library architecture includes a tree that realizes the classification of problems, methods of their solution and component description files; operations on components belong to the closed part of the library.

The component description files for each level of the library hierarchy are different according to the meaning of the component.

The solution files are: CPs (verbal descriptions of algorithms) and MOs, which constitute CPs, and PN models of CP\MOs (complete PN and its fragments).

There are 5 operations defined for library components: adding a new component to the library, editing it, searching for a given component, selecting a certain component, deleting a component.

2.2. The structure of the library of CP\MOs and their PN-models

The library structure is represented as a tree. Here 0-level is the root with the name TASK; it is the entrance to the library. Level 1 – categories of tasks: deterministic and random (stochastic) tasks. Level 2 – problem classes; Level 3 – problem subclasses; Level 4 – problem solving methods; Level 5 – solution files.

- Consider the classes of tasks for initial library completion.
 - Combinatorial problems: combinatorics, sorting, searching, covering, ...
 - Problems on sets: union, intersection and difference of sets, ...
 - Problems on graphs (networks): finding optimal paths and routes, independent cycles, shortest coloring, ...; optimal flows, ...
-

– Tasks on trees: tree traversal algorithms (width, depth, internal – for a binary tree); converting a regular tree to a binary tree; tree balancing; ...

– Solution files: CPs, represented by verbal descriptions of their algorithms, and MOs of different levels of complexity; PN-models of CP\MOs.

There are common MOs used in different classes of tasks; these are distinguished in a separate group.

Note that MOs are endowed with the following attributes: *name, designation, function, parameters with details of their definition.*

Example. Let's consider briefly filling the library with information about sorting and detailed information about sorting by inserts.

Note. The CP\MOs for the other sorts and their corresponding PNs will be considered in the next article.

The “**Combinatorial**” node is assigned a file with a list of tasks and their brief characterization, which are essentially combinatorial or can be represented as combinatorial [5].

The “**Sorting**” node is assigned a file of general sorting characteristics. Sorting according to Wirth [6] is a process of ordering, for example, in ascending order of a given sequence of numeric *keys*, which designate the sorted items, for example, by weight. So far only *internal* sorts, i.e. sorts for numbers stored in internal memory, have been considered. From a variety of sorting types 6 popular sorts are selected: 3 simple sorts (by exchange, selection, insertions) and 3 complex but faster sorts (Schella, pyramidal, fast). Sorting quality is evaluated by the number of comparisons of pairs of sequence elements and permutations of elements in a pair.

A table comparing the quality of the sorts is given in [6, paragraph 2.3.5].

For simple sorts, we introduce the notion of a “boundary” separating the sorted part from the original part, called the *finished* part.

The “**Method**” node has one method assigned to it, the insert method.

File “**Method by Inserts**”. Let us describe the method by insertions [6]. Sequence elements are divided into a *ready* subsequence a_1, a_2, \dots, a_{i-1} and an *input* subsequence a, \dots, a_{in} (Fig.1). Then the idea is used: the next element from the input subsequence is inserted at a *suitable place* in the ready subsequence.

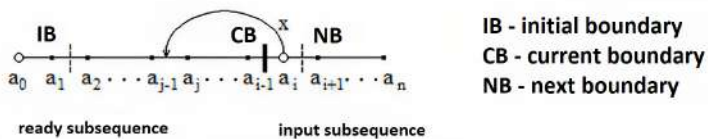


Fig. 1. Model of the sorting task by simple inclusions

The sorting process proceeds as follows.

We denote by x the current element to be inserted, as which we take the first element a_i ($x:=a_i$) immediately after the boundary and insert it at a suitable place in the ready subsequence; this place is defined by the relation: $a_{j-1} x < a_j$. In the case $x < a_j$, we shift the elements $a_j \dots a_{i-1}$ one position to the right, starting from the right end of the ready subsequence: $a_i := a_{i-1}$; $a_{i-1} := a_{i-2}$; ... $a_{j+1} := a_j$. We decrease the value of j by 1 and check again the condition $x < a_j$. If YES, we insert the current element x into the prepared subsequence: $a_j := x$. Otherwise ($x < a_{j-1}$) move the boundary to the right: $i:=i+1$ (this is the number of the element immediately after the boundary). Move to the beginning.

The process of comparing the current element with the next element of the ready subsequence and shifting (if necessary) the next element to the right is called *sifting in* [6].

A peculiarity of the sorting process: it may turn out that the current element should be placed on the first position. However, this does not create a pair of elements between which the current element should be placed. Such a pair is created artificially – a so-called “barrier” is introduced in the form of an element a_0 . Based on the comparison relation (see the beginning), we take the value of the barrier to be equal to the current element: $a_0 = x$. In this case, we need to expand the range of indices in the description of the array A to $0, \dots, n$.

Analysis of *extreme cases*. At the beginning of the process we consider element a_1 as sorted and element a_2 as current, i.e. we take $i_{\text{нач}} = 2$. The process ends by inserting element a_n at a suitable place, i.e., $i_{\text{кон}} = n$. Thus, the boundary moves between 2 and n .

The “**Solution**” node includes 2 files: “CP and MO” and “PN models”.

CP and MO **solution file**. General consideration of the method of solving the sorting problem allows us to formulate a *verbal description of the algorithm*. Based on it, it is quite easy to compose a program in the chosen programming language.

A verbal description of the simple inclusion algorithm

0. A_i is written into the ready subsequence a , into the input a_2, \dots, a_n .

1. $i := 2$.

2. Transfer the element $x = a_i$ from the input subsequence to the ready subsequence so that it remains sorted. To do this:

a) We extend the ready subsequence to the left with the barrier $a_0 := x$.

b) the parameter of the cycle of searching for a suitable place takes the value $j := i - 1$;

c) as long as $x < a_j$, the element a_j is shifted to the right ($a_{j+1} := a_j$) and j is decreased by one ($j := j - 1$);

d) $a_{j+1} := x$.

2. $i := i + 1$. If $i \leq n$, then go to step 2, otherwise sorting is finished.

Augmentation. The analysis shows that the following specific MOs can be identified for this method: MO “**Boundary Move**”, MO “**Shift element one position to the right**”, MO “**Search for a suitable place**”. The “**Counting cycle**” MO is placed in the general group.

PN-models” file. Note that for this method it is not reasonable to build PN- models for macrooperations due to their simplicity.

Let us consider the complete PN model for sorting by inserts (Fig. 2), constructed by SOA. Here the numbers 0 and 1 near the arc leaving the position denote: 1 – the process continues, 0 – transition to an alternative process.

Table 1 and Table 2 summarize the description and purpose of the PN components.

Based on the structure of the PN, we define scenarios for triggering transitions, covering all possible branches/contours of the structure. We have:

1) $p0 \rightarrow t0 \rightarrow p1 \rightarrow t1 \rightarrow p2$; 2) $NOTp1 \rightarrow t2 \rightarrow p3 \rightarrow t3 \rightarrow p3 \rightarrow t3$;

3) $NOTp1 \rightarrow t2 \rightarrow NOTp3 \rightarrow t4 \rightarrow NOTp1 \rightarrow t2 \rightarrow NOTp3 \rightarrow t4 \dots$

The first scenario is trivial and actually checks the possibility of performing a sorting operation. The second scenario describes the loop of searching for a suitable place and shifting a subsequence element. The third scenario describes the loop of inserting element x to a suitable place.

The simulation results showed that each of the scenarios is executed, i.e., the network is survivable, and with correct input data, the simulation ends after a finite number of steps.

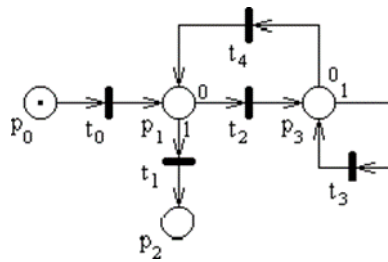


Fig. 2. PN model for sorting by insertion method

Table 1

Positions and their meanings	
Position	Significance
p_0	Beginning
p_1	$i > n$
p_2	The end
p_3	$x < a_j$

Table 2

Transitions and their meanings	
Transition	Significance
t_0	input A; $i := 2$
t_1	output A'
t_2	$x := a_i$; $a_0 := x$; $j := i - 1$
t_3	$a_{j+1} := a_j$; $j := j - 1$
t_4	$a_j := x$; $i := i + 1$

Note that the mandatory alternation of positions and transitions leads to the necessity of either introducing *fictitious* positions and transitions or combining the conditions/operators. In this case, the unification of operators is used.

Conclusion. The paper considers the concept of building a library of problems, their categories, classes and subclasses, solution methods and solution results in a general form. The latter are represented by computational processes, macrooperations and their models in the form of PNs (their fragments).

The architecture and structure of the library are developed. The architecture describes important information for the user. In particular, that all files are available to the user, but without the right to edit them. The structure of the library is a tree with six levels, with level zero being the root of the tree, which is the entrance to the library. The structure reflects the classification of tasks, their classes and subclasses, solution methods and solution files.

We used the previously proposed approach [1], which consists in preliminary modeling of CP by Petri net and transferring the improved CP to the stage of program writing. To realize this approach, we developed a method for building an CP model based on Petri net. The method is implemented in the form of a procedure consisting of the following stages: decomposition of the CP into MOs, mapping of Petri net (PN) fragments to them, assembly of the complete network and its modeling.

This library content provides valuable information that allows for detailed descriptions of problems, methods of solving them, the solutions themselves in general terms, and the corresponding models. In doing so, the work of users and researchers becomes more meaningful, providing a deeper understanding of the library's content. This content makes the library a powerful tool for managing and analyzing computational processes and their models, greatly increasing accessibility and relevance.

BIBLIOGRAPHY:

1. Method for Constructing the Model of Computing Process Based on Petri Net / N. Komleva et al. *Applied Aspects of Information Technology*. 2019. Vol. 2, no. 4. P. 260–270.
2. Peterson J. L. *Petri net theory and the modeling of systems*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1981. 290 p.
3. Паулін, О. М., Нікітченко, М. І. Вибір засобу моделювання обчислювальних процесів для підвищення якості програмного забезпечення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. №. 4. С. 69–78.
4. Introduction to Algorithms / V. J. Rayward-Smith et al. *The Journal of the Operational Research Society*. 1991. Vol. 42, no. 9. P. 816.
5. Reingold E. M. *Combinatorial algorithms: Theory and practice*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1977.
6. Wirth N. *Algorithms & Data Structures*. Pearson Education, Limited, 1986. 288 p.

REFERENCES:

1. Komleva, N., Marulin, S., Nikolenko, A., & Paulin, O. (2019). Method for Constructing the Model of Computing Process Based on Petri Net. *Applied Aspects of Information Technology*, 2(4), 260–270.
 2. Peterson, J. L. (1981). *Petri net theory and the modeling of systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
 3. Paulin, O. M., Nikitchenko, M. I. (2023). Selection of a computational process modeling tool for improving software quality. *Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences*, (4), 69-78.
 4. Rayward-Smith, V. J., Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L. (1991). Introduction to Algorithms. *The Journal of the Operational Research Society*, 42(9), 816.
 5. Reingold, E. M. (1977). *Combinatorial algorithms: Theory and practice*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
 6. Wirth, N. (1986). *Algorithms & Data Structures*. Pearson Education, Limited.
-

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.8>

РЕАЛІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ПАРАДИГМИ ПРОГРАМУВАННЯ МОВОЮ C

Стовманенко В. О. – аспірант

Чорноморського національного університету імені Петра Могили

ORCID ID: 0009-0000-7211-6967

Мова програмування C дозволяє створювати застосунки, що працюють на майже кожній актуальній платформі від поширених x86-сумісних процесорів, до MIPS у PlayStation One, від ARM у більшості сучасних смартфонів, до POWER-10 на великих серверах. Компілятор цієї мови з'являється для платформи інколи раніше ніж сама платформа з'являється фізично. Простота мови де є відносно невелика кількість вбудованих конструкцій дозволяє просто реалізувати початкову версію компілятора для цільової платформи. Створення застосунків із використанням C легше ніж з використанням асемблера, де, на відміну від C немає поняття циклів, типів чи методів, уже значно спрощує розробку, проте все ще є достатньо складним процесом так C не має вбудованих механізмів для керування пам'яттю, роботи з помилками або повторним використанням коду, окрім як використання спільних функцій та методів.

З іншого боку існують більш високорівневі мови, які вимагають значної кількості засобів для своєї роботи (інтерпретатор, віртуальна машина, набір системних бібліотек, які оптимізовані для конкретної платформи, тощо), але суттєво спрощують розробку. Часто, інфраструктура певної мови прив'язана до певної апаратної чи програмної платформи і не може бути використана аналогічним чином у інших середовищах, до того ж усі додаткові засоби необхідні для виконання, забирають частину ресурсів пристрою, що обмежує клас пристроїв, де можна виконувати код написаний цією мовою.

Існує спосіб отримати зручність переваги коду на C, що виконується швидко та майже будь-якій апаратній платформі й писати значно більш простий код. Для цього можна використовувати дворівневу компіляцію, де код мовою C – буде проміжним представленням і буде компілюватися в машинні інструкції компілятором C. Подібні мови уже існують (Vala, V, Zig) і кожна з них представляє свій варіант трансляції та своє бачення ООП. У статті розглядається бібліотека, що реалізує функціонал потрібний для забезпечення ООП, без прив'язки до конкретної апаратної платформи та з можливістю легко інтегрувати створені компоненти у інші програмні рішення.

Ключові слова: ООП, C, трансляція, виключення, обробка помилок, інтерфейс, поліморфізм, віртуальна таблиця методів, ABI, стабільність API.

Stovmanenko V. O. Object oriented paradigm implementation in C programming language

C programming language allows to create application and libraries that could be used on almost any relevant hardware platform. It could be x86-compatible desktop processor, MIPS in PlayStation One, ARM chip in a smartphone or a POWER-10 on some big server. Compiler for this language is often created sooner then the platform itself becomes available as a piece of hardware. Language simplicity with a relatively small amount of key words and included functionality allows to implement a basic C compiler quite easy. This language bring a noticeable simplification to the code. It is often used when the interaction with hardware is required, but in a very specific way. Other contender for this role is assembly for concrete platform, but it lacks such concepts as function, type, struct of cycle. Assembly program is basically a plain list of instructions and some of the have labels that allow jumping to it. And code written in C could be compiled for different architecture, while code in assembly has to be rewritten for other platform. However, while C code is easier then assembler, it is still more difficult then, Python, for example. Code has to be organized in functions, there are no namespaces, memory management is manual, no error handling mechanism, etc.

Meanwhile there are various high level languages, that have all these features and allow programmer to concentrate on ideas and concepts of concrete field and not think about low-level stuff. All these feature come with a price. It could be either interpreter, virtual machine, like CLR for C#, or various system components that should be present in order for such application to work. Sometimes infrastructure is tied to concrete hardware of software platform and could

not be used in other places. Like microcontrollers, for example. It also makes it more difficult to integrate components from various technologies together. To call Python library from C#, developer has to create a C wrapper that will interact with the Python interpreter and marshall the data between Python Interpreter and CLR. It is also true with C++ and Java, for example. One have to write a wrapper that will interact with a JVM to use Java component from C++ instead of just calling a method or a function.

It is possible to have advantages of C code that works quite fast and almost everywhere (with recompilation, of course), but to write much simpler code that looks more familiar to a developer that works with a higher level language. One could use two-level compilation. First stage is to compile the source language to C representation and then, use C compiler to generate native binary. Such languages already exist (Vala, V, Zig) and each of them have unique way of generating C code and own runtime library, necessary to provide primitives. Some of them could be easily ported to other architectures (like in Zig) and some not (GObject in Vala, which depends on Glib, not to confuse with Glibc). Sometimes it is easier to integrate them in other application and sometimes no. This articles describe OOP library for C language that allows code generation from higher level language and allows to have common way of working with virtual tables for polymorphic objects, type system, error handling, which have no dependencies other then C standard library and allows easy integration into other components that could call a C entry point.

Key words: OOP, C, translation, exception, error handling, interface, polymorphism, virtual method table, ABI, API stability.

Постановка проблеми. Об'єктно орієнтоване програмування (ООП) – це парадигма побудови програми, що визначає програму як набір об'єктів, які містять дані та логіку, що взаємодіють між собою [1]. Вона не прив'язана до конкретної мови програмування чи середовища і передбачає реалізацію сутностей, які реалізують такі поняття:

– Спадкування (Inheritance). Здатність сутності повторно використовувати поведінку (клас) та/або структуру (тип).

– Інкапсуляція (Encapsulation). Здатність сутності приховувати особливості структури та поведінки. Приховування передбачає можливість працювати з сутністю таким чином аби не було потреби знати про те, як саме виконуватиметься той чи інший метод та без розуміння того, яку структуру має ця сутність.

– Поліморфізм (Polymorphism). Здатність сутності змінювати поведінку успадкованого класу, але бути доступною для використання у якості об'єкту базового класу.

Для ясності варто визначити поняття «клас», що визначає набір та особливості поведінки сутності. Це поняття безпосередньо залежить від розуміння поняття «поведінка». В даному випадку під поведінкою мається на увазі сукупність точок входу, які можуть бути використані кодом, що працює з сутністю для виконання деякої дії. Різні мови по-різному це реалізують (виклик методу C++, відправлення повідомлення у Smalltalk, підстановка функції у Haskell). Мова може не бути об'єктно-орієнтованою для того щоб мати клас. Іншим важливим поняттям є «тип». Тип визначає з яких елементів складається сутність і те, де саме в пам'яті конкретної сутності знаходиться той чи інший елемент даних. Комбінація типу та класу дозволяє говорити про поняття об'єкту. Повноцінна реалізація трьох принципів наведених вище дозволяє говорити про реалізацію парадигми ООП.

Кожне з цих понять може бути реалізовано по-різному. Наприклад спадкування може бути розділеним (коли окремо можна успадкувати структуру, але не поведінку та навпаки) або спільним (не можна явно успадкувати щось одне без іншого). Інкапсуляція в статично типізованих мовах, що компілюються (наприклад C++) передбачає обмеження видимості частини класу чи типу для того щоб інші частини застосунку не могли робити припущення про те, як побудовано

об'єкт. В той же час для динамічних мов, таких як Python, це є значно меншою складністю так як немає потреби наперед визначати потрібний тип чи клас об'єкта для того аби ним скористатися. Поліморфізм може бути реалізований через таблицю віртуальних методів, як це робить C# або через композицію об'єктів, як це робить Go.

В той же час мова програмування C – це мова, яка використовує структурну парадигму до програмування [2]. Відсутність засобів автоматичного управління пам'яттю, безпеки типів та наявність арифметики вказівників роблять цю мову достатньо складною та такою, що вимагає високого рівня професійності розробника для того щоб написати швидко та надійну програму цієї мовою. В той же час, це проста мова, що передбачає реалізацію відносно не великого обсягу конструкцій управління. Тому це мова, яку відносно просто перенести на інші архітектури та операційні системи [3]. Вбудовані системи можуть отримати переваги C (мінімальне виділення пам'яті необхідне для роботи застосунку без використання сторонніх бібліотек та висока швидкодія з можливістю додавати вставки безпосередньо на асемблері для реалізація платформозалежних шматків коду) і в той же час застосунки на C можуть використовуватися у великих розрахункових центрах, де потрібна максимальна швидкодія та робота із апаратною складовою [4]. Тому можливість використовувати звичні та популярні підходи ООП може бути корисною під час реалізації того чи іншого засобу на будь-якій платформі.

Мета. Продемонструвати можливості реалізації підходів ООП мовою програмування C, що не є об'єктно-орієнтованою відповідно до потреб розробника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна частина публікацій, що стосується принципів об'єктно-орієнтованого програмування була випущена в 1990-х роках і визначала теоретичну базу [5] для реалізації подібного підходу до програмування. Сучасні дослідження на кшталт джерел [6, 7] більше концентруються на використанні мов програмування у конкретних контекстах і реалізації певних підходів ООП на вже розвинених мовах програмування, на кшталт C++, Python чи JavaScript. Підходи до реалізації ООП стосуються або реалізації певних мов програмування та теорії компіляторів або теорії множин і більше стосуються розвитку математичного апарату. Дана стаття розглядає реалізацію визначених підходів ООП на наявній мові програмування, що не містить їх.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Існує декілька підходів до реалізації ООП на C [8, 9]. Різність у реалізації дозволяє приводити різні приклади того, як принципи визначені у вступі перенесені в код мовою C. Кожен з них містить позитивні та негативні моменти.

– Використання бібліотеки/заголовків, які реалізують об'єктно-орієнтований підхід. Прикладами таких є GObject або KObject. Вони надають реалізацію базових класів для об'єктів та надають допоміжні структури для створення класів та типів визначають підхід до того як працюватимуть об'єкти. Обидві визначають макроси для створення визначень структур, які мають спростувати для розробника визначення структур (C structs), які потрібні для визначення класів. Прикладом таких макросів для GObject є [8].

```
...
G_DEFINE_TYPE (NamespaceTypeName, namespace_type_name, NAMESPACE,
TYPE_NAME, BaseType);
...
```

NamespaceTypeName – написання типу простору імен та назви типу у стилі PascalCase, що визначає назву типу і класу (в GObject тип і клас поєднано).

`namespace_type_name` – написання типу простору імен та назви типу у стилі `snake_case`, що визначає префікс функцій, які будуть використовуватися.

`NAMESPACE` – окрема назва простору імен.

`TYPE_NAME` – назва типу.

`BaseType` – назва базового класу та типу, який буде використовувати.

Помилки у цих назвах призводять до не очевидних помилок компіляції або виконання. Проте, у разі правильного написання це дає змогу не писати вручну велику кількість визначень, яких очікує бібліотека. Всі вони визначені відповідно до певних вимог і явно не перевіряються компілятором. При тому основний акцент на тому, що програмісти будуть писати код вручну, тому визначається значна кількість допоміжних елементів, які спрощують визначення елементів потрібних для бібліотеки.

– Модифікації компілятора та/або препроцесора для розширення функціоналу. В залежності від рівня змін можна говорити про створення окремих мов програмування. Прикладами є *C2*, *C3*, *SCOOP* та навіть, до певної міри такі проекти як *Objective-C* та *C++*. Усі ці приклади здебільшого зберігають зворотну сумісність з *C* але додають конструкції на рівні мови, що перевіряються компілятором (на відміну від не явних угод з попереднього пункту) для реалізації принципів ООП (*Objective-C* та *C++* реалізують дуже різні підходи до ООП залишаючись зворотно сумісними з *C*). Наприклад методи *C++* реалізовані як функції *C*, що приймають вказівник на `this`, як 1-ий параметр функції. Таким чином

```
...
class MyClass
{
public:
    intMyMethod (int param1, int param2);
}
...
```

Перетворюється на точку входу в *C* в стилі [10].

```
...
int CXX_NS_MyMethod(MyClass* this, int param1, int param2);
...
```

Або, в залежності від компілятора

```
...
int CXX_NS_MyMethod(int param1, int param2);
...
```

А вказівник на поточний об'єкт передається іншим способом (наприклад через стек). Для написання коду на подібній мові не важливо яким самим способом це буде реалізовано до тих пір поки зберігається єдиний підхід. Проте для роботи з подібним кодом з інших мов або зі звичайного *C* – це є критичним. І здебільшого це ускладнює роботу з виклику методу чи функції. Також, в залежності від складності перетворень, це може суттєво сповільнювати компіляцію (шаблони, `templates`, достатньо складна операція, що забирає більшу частину часу компіляції коду на *C++*).

– Реалізація окремого транслятора, який генерує код на *C*, що компілюється звичайним компілятором мови *C*. Прикладами подібного є мова *Vala* [11], що містить окремий транслятор, що генерує код на *C*, який використовує бібліотеку *GObject* та об'єкту модель, яку надає ця бібліотека. Іншим прикладом є мова *V*. На відміну від *Vala*, *V* не використовує наявну бібліотеку для реалізації ООП. Підхід

більше нагадує той, що використовується в мові Go. V не використовує наявної бібліотеки для реалізації ООП, але використовує бібліотеку для «збирача сміття», що вбудовується в кожний виконуваний файл. Подібний підхід дає максимальний ступінь свободи для реалізації мови, дозволяє реалізувати стабільний інтерфейс доступний для інших застосунків, які можуть викликати методи на C (на відміну від попереднього пункту) та отримувати доступ до інших бібліотек на C або іншій мові, яку можна викликати з коду поточної мови (як і в попередньому пункті). Проте в даному випадку зневадження та проблеми з підходами, які пропонує транслятор можуть переривати нормальне виконання програми в неочікуваний для розробника спосіб. Якщо розробник не занурюється в код, який автоматично створюється, то деякі особливості роботи застосунку будуть не очевидними. Також існують проблеми зі зневадженням. Так як кінцевий компілятор не знає про оригінальну мову, то і в двійковому файлі буде тільки інформація про символи з коду на C, який може суттєво відрізнитися від коду оригінальною мовою. В залежності від обраного підходу мова може вимагати реалізації базових типів на C так і використовувати виключно інструменти які надаються самою мовою або компілятором. У ситуації з Vala, робота об'єктної системи повністю визначається бібліотекою GObjeet і отримати щось інше не можна. Тому вибір підходу є дуже важливим і суттєво вплине на можливості об'єктної системи, що буде реалізованим.

Тому уже існують засоби, які реалізують ООП у більшій чи меншій мірі на C. Проте рішення, яке одночасно давало б змогу писати код на C безпосередньо, давало змогу реалізовувати принципи ООП без або з мінімальною кількістю підходів, що покладаються на не явний контракт і було зручним рішенням для автоматичної генерації коду немає. Кожне з рішень має негативні моменти пов'язані з поставленою ціллю. Тому в даній статті розглядається бібліотека для реалізації принципів ООП на C, яку можна використовувати для вирішення трьох поставлених задач.

Виклад основного матеріалу. Для того щоб мати змогу писати код безпосередньо на C, було реалізовано бібліотеку, яку можна використовувати у потрібних місцях програми і, водночас, використовувати як ціль для генерації коду з іншої мови, як це робить Vala, V, Nim або інші мови. Далі буде розглянуто реалізації кожного з принципів у бібліотеці [12] та наведено приклади того, як це реалізовано і як це має використовуватися. Бібліотека визначає систему типів з базовим класом та типом Object. Це структура такого роду

```
...  
struct object_t {  
    unsigned short marker;  
    unsigned int ref_count;  
    void* state;  
    Type* type;  
};  
...
```

– *marker* – це константне значення, що дозволить виявити чи є дані під вказівником об'єктом (необхідно для захисту від пошкоджень пам'яті адже можлива передача не правильних даних через вказівник типу *void**). Кожен об'єкт містить цей заголовок, який дозволяє його ідентифікувати як правильний. Негативною рисою подібного є необхідність витратити додаткові 2 байти на кожен створений об'єкт.

– `ref_count` – це кількість посилань на поточний об’єкт. Використовується для управління пам’яттю і слугує індикатором необхідності звільнити пам’ять, яку використовує об’єкт.

– `state` – це вказівник на дані конкретного об’єкту або його структуру. Тип `Object` не визначає ніякої структури самостійно. Натомість він визначає підхід для зберігання даних між типами.

– `type` – вказівник на об’єкт, який описує тип та клас поточного об’єкта.

В кодї на *C* всі об’єкти фактично одного типу `Object` і можна тільки визначити інше ім’я для того ж типу для зручності.

```
...
typedef struct object_t MyType;
...
```

Таким чином присвоєння такого виду буде правильним

```
MyType1* obj = (MyType2*)get_object_2();
...
```

і не викличе ніяких попереджень компілятора. Для того щоб убезпечитися від подібного реалізовано функцію, що перевіряє тип перед здійсненням присвоєння. Так як кожен вказівник можна перевірити (чи дійсно це об’єкт) і кожен об’єкт містить тип, завжди можна перевірити чи можна здійснювати присвоєння або передачу в якості параметра. Для подібних перевірок клас `Type` визначає метод

```
bool object_type_is_assignable_from(Type* this, Type* that);
...
```

що дає змогу перевірити чи можна присвоїти змінній типу `this` значення об’єкту типу `that`.

Іншою важливою структурою, що забезпечує роботу системи типів є тип та клас `Type`. В ньому містяться посилання на таблицю віртуальних методів, функції для виділення пам’яті та звільнення конкретної структури класу та інформація про наявні методи (що не є обов’язковим для забезпечення існування ООП підходу, але є зручним інструментом).

Далі про реалізацію для забезпечення кожного принципу ООП.

– Наслідування. Спадкування структури здійснюється через роботу з вказівником `state`. Кожен тип може визначати свій тип структури, де будуть зберігатися дані визначені конкретним типом. Під час реєстрації типу в системі типів (це відбувається під час створення першого об’єкту цього типу) визначається розмір цієї структури або 0, якщо її немає. Далі, під час створення об’єкту даного типу, система типів виділяє такий обсяг пам’яті, який дозволить зберегти по одному екземпляру кожної структури для кожного елементу ієрархії. В загальному випадку для того, щоб отримати стан конкретного об’єкту свого типу треба здійснювати такий набір операцій.

```
...
static struct _my_type_state_t* namespace_my_type_get_state(MyType* this)
char* stateHandle = (char*)object_object_get_state(this); //1
Type* thisType = object_get_my_type_type(); //2
Type* baseType = object_type_get_base_type(thisType); //3
int baseSize = object_type_get_size(baseType); //4
return (struct _my_type_state_t*)(stateHandle + baseSize); //5
}
...
```


Спочатку код отримує вказівник `state` (входження 1). Код за межами бібліотеки не може змінювати значення цього вказівника безпосередньо, проте бібліотека типів надає доступ до даних, які там знаходяться. Від автора конкретного користувацького залежить чи робити визначення структури, що міститься в сегменті пам'яті, куди вказує `state` чи ні. Наступне входження (2) отримує входження поточного типу. Тут використовується функція для отримання конкретного типу не залежного від змінної тому що функцію визначено у файлі з визначенням цього класу. Входження 3 дозволяє отримати базовий клас для поточного типу. У якості оптимізації можна використовувати наперед відомий батьківський тип. У входженні 4 отримується розмір стану батьківського класу. Фактично це зсув у байтах, який необхідно здійснити аби отримати інформацію про структуру конкретного типу. П'яте входження здійснює цей зсув на потрібну кількість байт для того щоб отримати адресу першого байту структури конкретного типу. При тому для реалізації такого методу потрібно знати тип структури, яка використовується в якості стану для конкретного об'єкту, що дозволяє забезпечувати інкапсуляцію та приховувати певні особливості реалізації.

Спадкування класу здійснюється за рахунок можливості використання будь-яких не поліморфних методів батьківського класу, які є доступними у певному місці в коді. Для поліморфних об'єктів визначається таблиця віртуальних функцій про яку більше в секції про поліморфізм.

– **Інкапсуляція.** *C* має достатньо можливостей для інкапсуляції даних навіть без урахування принципів ООП. Для публічного доступу достатньо використовувати заголовок з публічними типами та функціями, а у файлі з реалізаціями можна використовувати будь-які не зазначені у публічному інтерфейсі типи та функції. Можна визначити тільки назву типу не розкриваючи подробиць її фактичної структури (у таких ситуаціях не можна буде створити таку структуру або привести вказівник до цього типу). Проте код що з нею працює не знає які поля конкретна структура має. Структура `object_t` визначена саме таким чином. Її структура відома тільки в межах бібліотеки і не є публічно доступною. Таким чином визначення об'єкту є інкапсульованим. Можливо визначати функції для отримання та встановлення значень, які нададуть змогу працювати із конкретними значеннями без розкриття подробиць реалізації структури. За потреби автор типу все ж може розкривати інкапсуляцію. Для того аби дати доступ до частини або всієї структури типу достатньо визначити структуру в публічному заголовку для користування. Аналогічним чином можна визначати додаткові відомості, які мають бути доступними тільки для похідних типів. В бібліотеці визначено підхід, який дозволяє розмежовувати доступ до визначень класу підтримуючи різні рівні доступу. Кожен клас містить теку, в якій міститься клас із реалізаціями з розширенням «.c» та набір заголовків. Заголовок `public.h` містить усі визначення, які є публічними і є доступними для усіх хто використовує цей тип. За потреби можна визначити заголовок з назвою `protected.h`, який міститиме визначення, які мають бути доступні похідним типам. За потреби можна визначити будь-які інші заголовки з більш особливими обмеженнями.

– **Поліморфізм.** Для реалізації поліморфізму в структурі `Type` визначено поле `void* vt`. Робота з ним здійснюється аналогічним чином, як і з `void* state` у структурі `object`. Під час реєстрації вказується розмір таблиці віртуальних методів для конкретного класу і для її отримання потрібно змістити вказівник на таблицю на потрібну кількість байт та привести до потрібного типу. Після того можна викликати потрібний метод, вказівник на який збережено в таблиці. Варто зауважити, що таблиця в даному випадку це структура на кшталт наступної

```

...
struct _object_vt {
    String* (*to_string)(Object* this, Exception** exception);
    int (*hash)(Object* this, Exception** exception);
};
...

```

Враховуючи, що кожне поле подібної структури – це вказівник, то дану структуру можна представляти в вигляді масиву вказівників (у найбільш простому випадку void**). Індексом такого масиву може слугувати числовий ідентифікатор методу. На рівні коду на асемблері звертання до будь-якого поля структури – це читання адреси структури з певним зсувом. Тому в даному випадку можна говорити про таблицю. Під час реєстрації типу можна отримати вказівник на таблицю віртуальних методів та перевизначити входження і змінити входження. Батьківський клас при цьому не зазнає ніяких змін. Єдиною вимогою до нього є використання цієї ж таблиці віртуальних функцій для виклику. Таким чином виклик функції батьківського класу переспрямовується через таблицю у реалізацію потрібного класу. Після перевантаження функції все ще існує можливість викликати реалізацію базового класу через таблицю віртуальних функцій базового класу.

Додатково реалізовано обгортки для фундаментальних типів (цілі числа зі знаком та без знаку, дробові числа, символи та логічні значення), типи, які можна узагальнювати (підтримано дві стратегії для використання подібних класів, коли існує можливість використовувати скопільовану версію, де підставлено потрібний тип і використання є оптимізованим і загальну версію, де використовується Object замість конкретних типів), інтерфейси та виключення (які не вимагають розгортання стеку, а є звичайною структурою, яка повертається як додатковий аргумент методу). Типова програма на C, що використовує можливості ООП виглядає так:

```

...
#include «object.h»
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main() {
    object_init();

    Exception* exception = NULL;
    IntArray* intArr = object_int_array_new(2, &exception);
    if(exception != NULL) {
        String* msg = object_exception_get_message(exception);
        char* buffer = object_string_get_buffer(msg);
        printf(«%s\n», buffer);
        return 1;
    }

    object_int_array_set(intArr, 0, 2, &exception);
    if(exception != NULL) {
        String* msg = object_exception_get_message(exception);
        char* buffer = object_string_get_buffer(msg);
        printf(«%s\n», buffer);
    }
}

```

```
    return 1;
}

int val = object_int_array_get(intArr, 0, &exception);
if(exception != NULL) {
    String* msg = object_exception_get_message(exception);
    char* buffer = object_string_get_buffer(msg);
    printf(«%s\n», buffer);
    return 1;
}

printf(«Array value is %d\n», val);

Type* t = object_object_get_type(intArr);
while(t != NULL) {
    String* name = object_type_get_name(t);
    char* buffer = object_string_get_buffer(name);
    printf(«Type is %s\n», buffer);
    t = object_type_get_base_type(t);
}

BoxedInt32* boxed = object_boxed_int32_new(12);
int value = object_boxed_int32_get_value(boxed);
printf(«Boxed value is %d\n», value);

String* stringValue = object_object_to_string(boxed, &exception);
if(exception != NULL) {
    String* name = object_type_get_name(t);
    char* buffer = object_string_get_buffer(name);
    printf(«Exception is %s\n», buffer);
    t = object_type_get_base_type(t);
}

char* buf = object_string_get_buffer(stringValue);
printf(«Boxed string value is %s\n», buf);
object_object_unref(stringValue);
}
...

Реєстрація похідного типу виглядає так
...

#include «Core.Exception/protected.h»
#include «Core.String/public.h»

#include «string.h»
#include «stdlib.h»

static Type* objectArgumentExceptionType = NULL;

Type* object_get_argument_exception_type() {
```

```
if(objectArgumentExceptionType != NULL) {
    return objectArgumentExceptionType;
}

String* name = object_string_new_with_data_owned(«Core.ArgumentException»);
Type* baseType = object_get_exception_type();

TypeSubstitution* subs[1];
subs[0] = NULL;

Method* methods[1];

methods[0] = NULL;

void* baseVT = object_type_get_virtual_table(baseType);
ObjectVT* vt = (ObjectVT*)malloc(sizeof(ObjectVT));
memcpy(vt, baseVT, sizeof(ObjectVT));

TypeOrGenericParam* typeParameters[1];
typeParameters[0] = NULL;

TypeRestriction* restrictions[1];
restrictions[0] = NULL;

Type* interfaces[1];
interfaces[0] = NULL;

objectArgumentExceptionType = object_type_new(name, baseType, typeParameters,
subs, methods, vt, 0, 0, restrictions, interfaces);

return objectArgumentExceptionType;
}
...
```

Реалізований підхід дає схожий рівень інкапсуляції та швидкодії базових операцій, що і GObject (цю бібліотеку обрану як альтернативу для створення застосунків у просторі користувача, яка використовується як для написання коду на C безпосередньо так і для перетворення з іншої мови на C з використанням системи типів). На відміну від GObject, Obj (тимчасова назва розробленої бібліотеки), вимагає єдиного входження, яке має бути реалізовано відповідно до неявного контракту (функція що повертає інформацію про тип). При тому вона не має відповідати конкретному шаблону імені. Решта функція може бути довільною, проте об'єкт типу Type має бути правильно заповненим. Також Obj надає більше гнучкості для інкапсуляції. GObject вимагає публічного визначення віртуальної таблиці методів. GObject містить обмежену підтримку узагальнень. На рівні коду C узагальнень не існує, тому загальним підходом до узагальнень там є використання окремого поля, що утримує параметр типу та структури GValue, що описує узагальнені значення. При тому інформація про тип ніяк не описує узагальнений тип. Це критично для рішень на кшталт бібліотек серіалізації/десеріалізації (створення представлення об'єкту у певній формі/відтворення об'єкту на основі певного представлення).

Через історичні особливості не всі об'єкти містять тип. Наприклад звичайний масив не містить типу і не є об'єктом. В той же час GObject – це перевірена бібліотека, що використовується у великій кількості реалізованих продуктів та компонентів. З її використанням побудовано бібліотеку для створення графічних інтерфейсів користувача GTK, бібліотеку для роботи з растровою графікою Cairo, бібліотеку для обробки мультимедіа GStreamer тощо. Новий засіб використовує дещо інший підхід до структурного спадкування, розширює систему типів, додає більше даних про клас та тип і концентруються на можливості більш зручного створення коду з іншої мови при цьому забезпечуючи можливість писати код на C (з підходом аналогічним до динамічних мов на кшталт Python, коли є необхідність додавати перевірки типу на етапі виконання, що можна прибирати у оптимізованій версії збірки). При тому на поточному етапі він однозначно не є настільки надійним як GObject. Деякі можливості поки не реалізовано в бібліотеці. Наприклад, на поточному етапі не підтримано статичних елементів класу (не є архітектурним обмеженням та може бути додано), узагальнених інтерфейсів, а також можливості отримувати чи встановлювати значення структури відповідно до інформації про тип (reflection). Проте жодне із цих обмежень не є архітектурним і може бути реалізованим. Бібліотека написана з версією мови C99 та не має ніяких залежностей окрім як стандартної бібліотеки. Також є можливість прибрати і цю залежність, але для цього треба реалізувати частину функцій для маніпуляцією пам'яттю, перевіркою умов та буферами символів (с strings).

Висновки. В ході досліджень створено бібліотеку для мови програмування C, що реалізує ключові поняття об'єктно-орієнтованого програмування і визначає підходи для забезпечення функціонування об'єктної моделі. Проаналізовано наукові публікації, що аналізують можливості реалізації об'єктних підходів у програмуванні та наявні реалізації об'єктних моделей, які написано мовою програмування C. Реалізовано додатковий функціонал, який дозволить спростити розробку застосунків з використанням подібного засобу та дозволить реалізацію інших мов програмування, що будуть використовувати систему типів реалізованої бібліотеки. Визначено переваги нового засобу над наявними та наведено його недоліки.

Реалізована бібліотека демонструє можливості об'єктно-орієнтованого підходу, який можна використовувати на будь-якому оточенні та застосовувати як ціль для компіляції для іншої мови, що надає значно більш зручний синтаксис, але створює виконуваний файли, що можуть використовувати наявні бібліотеки на C без штрафів до швидкодії для передачі значень між оточеннями та не вимагають інтерпретатора чи іншого оточення, що виконують проміжне представлення застосунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Deborah J. Armstrong. The quarks of object-oriented development. *Communications of the ACM*. 2006. Vol. 49. № 2. p. 123–128.
2. Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie. C Programming Language. Second edition. London, 1988. 272 p.
3. Rabinowitz Henry, Schaap Chaim. Portable C. Hoboken, 1990. 269 p.
4. Manuel Costanzo and others. Performance vs Programming Effort between Rust and C on Multicore Architectures: Case Study in N-Body. *Arxiv*. 2021. Vol 2107. Article 11912.
5. Booch, G. Object Oriented Analysis and Design with Applications. Boston, 1994. 608 p.

6. Iqbaldeep Kaur and others. Research paper on object oriented software engineering. *International journal of computer science and technology*. 2016. Vol. 7, Issue 4. p. 36–38.

7. H. Hourani, H. Wasmi, T. Alrawashdeh. A Code Complexity Model of Object Oriented Programming (OOP). *IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*. Amman, Jordan, 2019, p. 560–564.

8. Репозиторій коду бібліотеки GLib. URL: <https://github.com/GNOME/glib/tree/main/glib>. (дата звернення: 13.12.2023).

9. Репозиторій коду ядра Linux. URL: <https://github.com/torvalds/linux>. (дата звернення 13.12.2023).

10. Репозиторії із стандартами C++. URL: <https://github.com/cplusplus/draft> (дата звернення 13.12.2023).

11. Репозиторій транслятора мови Vala. URL: <https://gitlab.gnome.org/GNOME/vala> (дата звернення 13.12.2023).

12. Репозиторій реалізованої бібліотеки. URL: <https://github.com/FlaviusHouk/Obj> (дата звернення 13.12.2023).

REFERENCES:

1. Armstrong, D. J. (2006). The quarks of object-oriented development. *Communications of the ACM*, 49(2), 123–128.

2. Kernighan, B. W., & Ritchie, D. (1988, March 22). *C Programming Language*. Prentice Hall.

3. Rabinowitz, H., & Schaap, C. (1990, January 1). *Portable C*.

4. Costanzo, Rucci, Naiouf, & De Giusti. (2021, October). Performance vs Programming Effort between Rust and C on Multicore Architectures: Case Study in N-Body. *Arxiv*. Retrieved December 13, 2023, from <https://arxiv.org/abs/2107.11912>

5. Booch, G. (1994, January 1). *Object-oriented Analysis and Design with Applications*. Addison-Wesley Professional.

6. Kaur, Kaur, Ummat, Kaur, & Kaur. (2016, October). Research Paper on Object Oriented Software Engineering. *International Journal of Computer Science and Technology*, 7(4), 36–38. <http://www.ijcst.com/vol74/1/8-iqbaldeep-kaur.pdf>

7. Hourani, H., Wasmi, H., & Alrawashdeh, T. (2019, April). A Code Complexity Model of Object Oriented Programming (OOP). *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*. <https://doi.org/10.1109/jeeit.2019.8717448>

8. GNOME Foundation. (n.d.). *GLib source code*. GitHub. Retrieved December 13, 2023, from <https://github.com/GNOME/glib/tree/main/glib>.

9. Linux Foundation. (n.d.). *Linux kernel source tree*. GitHub. Retrieved December 13, 2023, from <https://github.com/torvalds/linux>.

10. *C++ standards drafts*. (n.d.). GitHub. Retrieved December 13, 2023, from <https://github.com/cplusplus/draft>

11. GNOME Foundation. (n.d.). *Vala language translator*. GitLab. Retrieved December 13, 2023, from <https://gitlab.gnome.org/GNOME/vala>.

12. Vladyslav Stovmanenko. *C Obj library*. GitHub, Retrieved December 13, 2023, from: <https://github.com/FlaviusHouk/Obj>.

УДК 004.62:378.14

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.9>

ПРОБЛЕМИ ФОРМАТІВ ІМПОРТУ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ СИСТЕМИ MOODLE ДЛЯ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТ ІТ-НАПРЯМКУ

Хмілярчук Л. І. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1753-6472

Бабич В. І. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-1996-9332

Плеша В. І. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-5321-9602

Артеменко А. В. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0008-7375-9911

У роботі розглянуто проблеми імпорту навчальних матеріалів до системи навчальної платформи Moodle для освітніх компонент, спрямованих на інформаційні технології. Дослідження може стосуватися також інших освітніх компонент, навчальний матеріал яких містить частини з особливим синтаксисом та символами, які співпадають із службовими символами форматів імпортування для навчальних систем. Для дослідження взято середовище системи Moodle – достатньо популярної відкритої платформи для системи управління навчанням. Метою роботи є дослідження форматів імпортування навчальних матеріалів, з'ясування проблем, які виникають при цьому, напрацювання способів адаптації проблемних матеріалів та вибір найбільш оптимальних форматів імпортування, способів їх оформлення та обробки виходячи з особливостей навчальних матеріалів різного напрямку.

Акцентовано увагу на автоматизованому імпорті тестових питань в Moodle. Проаналізовано різні формати імпорту питань, та їх недоліки і обмеження. Особливу увагу сконцентровано на форматах GIFT та XML, які визначаються як популярні та зручні для Moodle через їхню адаптивність, простоту редагування та вбудовану підтримку платформи для операцій імпорту-експорту.

У роботі досліджено конкретні проблеми, пов'язані з особливостями програмної обробки процесів імпорту-експорту даних, з якими стикаються користувачі при формуванні матеріалів освітніх компонент, зокрема ІТ-напрямку, створюючи бази питань в ручному режимі та інструментами імпортування з зовнішніх джерел. Для подолання цих труднощів пропонуються різні підходи, серед яких підбір відповідних форматів файлів для імпортування, використання екрануючих символів для відмежування розмітки від контенту, інтегрування одних форматів даних в інші, та комбіновані способи оформлення.

На завершення підкреслено необхідність індивідуальних підходів у формуванні навчальних матеріалів, особливо для освітніх компонент ІТ-напрямку. Запропоновані рішення спрямовані на оптимізацію роботи з платформами, які підтримують згадувані формати обміну даними, зокрема процесів наповнення бази питань, не лише для навчальних матеріалів з інформаційних технологій, але й для інших дисциплін з аналогічними проблемами формування.

Ключові слова: навчальна платформа, Moodle, імпорт, формат, GIFT, XML, екранування символів, база тестів, програмування, розмітка.

Khmiyarchuk L. I., Babych V. I., Plesha V. I., Artemenko A. V. Issues of import formats for educational materials in the Moodle system for IT-oriented educational components

The paper addresses the challenges of importing educational materials into the Moodle learning platform for educational components focused on information technologies. The research may also apply to other educational components whose learning materials contain parts with specific syntax and symbols that coincide with the service symbols of import formats for educational systems. The study focuses on the Moodle system environment, a widely used open platform for learning management. The aim of the work is to explore the formats for importing educational materials, identify the challenges that arise, develop ways to adapt problematic materials, and select the most optimal import formats, methods of formatting, and processing based on the characteristics of educational materials in various fields.

Particular attention is given to the automated import of test questions into Moodle. Various question import formats are analyzed, along with their shortcomings and limitations. Special emphasis is placed on GIFT and XML formats, recognized for their popularity and convenience in Moodle due to their adaptability, ease of editing, and built-in platform support for import-export operations.

The paper investigates specific problems related to the peculiarities of software processing in the import-export processes that users face when creating educational materials, especially in the IT domain, by manually forming question databases and importing tools from external sources. Various approaches are proposed to overcome these difficulties, including the selection of appropriate file formats for importing, the use of escape characters to distinguish markup from content, integration of data formats into each other, and combined formatting methods.

In conclusion, the necessity of individual approaches to formatting educational materials, especially for IT-focused educational components, is emphasized. The proposed solutions aim to optimize work with platforms that support the mentioned data exchange formats, particularly in the process of populating question databases, not only for IT educational materials but also for other disciplines with similar formatting issues.

Key words: *educational platform, Moodle, import, format, GIFT, XML, character escaping, test database, programming, markup.*

Вступ. В сьогоднішніх умовах зростаючого впливу комунікаційних технологій на фоні мобільності населення, пандемій, геополітичних конфліктів та інших факторів впливу на організацію освітнього процесу в навчальних закладах, актуальним є завдання забезпечення учасників доступом до навчальних матеріалів. Цього можна досягнути за допомогою різних навчальних платформ, однією з яких є популярна платформа Moodle – безкоштовна система керування навчанням із відкритим вихідним кодом. Отже, ключову роль відіграє можливість швидкого опрацювання навчальних матеріалів і адаптації їх до навчальної платформи методами ручного, напівручного введення та, особливо, автоматизованого імпортування через спеціальні сумісні формати.

Постановка проблеми. Тестування сьогодні є невід’ємною частиною навчальних матеріалів і системи контролю. Особливістю тестових баз, тобто банків питань, є їх значні розміри (для забезпечення різноманітності випадкових варіантів формування тестів як кожної теми окремо, так і для загальної вибірки), однотипність структури запитань, чи доцільніше сказати наявність кількох типових моделей запитань та відповідних їм форматів для варіантів відповідей. На етапі формування тестової бази існує потреба автоматичного завантаження питань, оскільки процес ручного введення займає багато часу. Процес імпорту бази питань реалізується через спеціальні формати файлів, підтримка яких залежить від програмного забезпечення навчального середовища. На цьому етапі може виникати ряд проблем пов’язаних з особливостями самого матеріалу, який потрібно імпортувати чи опублікувати в навчальну платформу. Це пов’язано з тим, що сам зміст навчальних матеріалів, які потрібно представити у формі тестового питання, завдання чи варіантів відповідей, може містити спеціальний синтаксис, який співпадає з правилами розмітки форматів для імпорту і викликає конфлікт, або,

якщо точніше висловлюватися, помилки розпізнавання структури навчальних матеріалів. Результат імпорту, в такому випадку, буде схожим на ситуацію, коли недотримані правила розмітки форматів імпортування. Текст може бути імпортовано, проте його структура буде представлена неправильно, матеріал розірваний у несподіваних місцях, а окремі частини тексту можуть будуть недоступними для користувача в режимі перегляду.

В таких випадках необхідно вчасно і правильно ідентифікувати матеріали, які потребують спеціального підходу до форматування, та розробити підходи для такого типу обробки.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемами забезпечення інформаційними системами управління навчанням загалом та особливостями платформи Moodle займалися багато дослідників: Голощук Р. О. [1], Морзе Н. В. [2], Гринчак О. В. та інші [3]. Зокрема проблеми імпортування навчальних матеріалів досліджували: Мінтій І.С. та Мінтій М.М.[4], Костишин С. О. та Карпінський М. П. [5], Фурман К. [6, 7]. Проте дослідники не присвятили належної уваги проблемам завантаження матеріалів з особливим синтаксисом, серед яких можуть бути навчальні матеріали комп'ютерних наук, на зразок об'єктно-орієнтованого програмування, різноманітних мов програмування та розмітки, або ж інших, таких як математика, хімія, фізика, для яких потрібні спеціальні підходи оформлення.

Метою статті є пошук оптимальних способів імпортування навчальних матеріалів, які є проблемними для завантаження, їх ідентифікації на початкових етапах, підготовки та належної обробки для подальшого використання у функціях імпортування платформи Moodle.

Виклад основного матеріалу. Платформа Moodle пропонує цілий ряд форматів (Aiken, Blackboard, Examview, GIFT, Moodle XML, WebCT) для імпорту питань з файлу [8], проте деякі з них є надто обмежені в можливостях, або покликані забезпечити обмін з іншими навчальними платформами. Такі обмеження не дають вирішити проблеми імпортування матеріалів з особливим синтаксисом, оскільки не передбачено можливостей додаткового налаштування формату всередині документа. Або ж інші формати, для яких потрібно створювати файл імпорту на інших платформах. Найбільш популярними і зручними для Moodle є формати GIFT та XML. Їх зручність обґрунтовується не тільки адаптованістю під систему, відносно простотою редагування, зрозумілістю, широкими можливостями налаштувань, а й тим, що Moodle тільки їх пропонує для експорту питань з бази. Тобто при потребі перенесення тестових питань з однієї бази в іншу обмін відбуватиметься саме через ці формати.

Кожен з форматів для імпорту питань має свої вимоги щодо структури, синтаксису та спеціальних символів, які застосовуються для правильного розмежування складових частин переліку питань, позначення правильних та неправильних варіантів відповідей їх оцінювання. Для більшості освітніх компонент, враховуючи навчальний матеріал, не виникає проблем із створенням файлів формату GIFT чи XML з правильною розміткою, потрібним текстом всередині і подальшим імпортом переліку питань в базу. Проте деякі освітні компоненти, серед яких компоненти ІТ-напряму, мають ряд особливостей, які ускладнюють процес створення файлів для автоматичного завантаження тестових питань та потребують спеціальних підходів до форматування. Це обумовлюється особливістю навчального матеріалу. Необхідно відразу зазначити, що при ручному введенні кожного питання окремо шляхом використання інтерфейсу конструктора для створення тестових питань системи Moodle таких проблем зазвичай не виникає, адже програмне

забезпечення самостійно переформатує введений матеріал адаптуючи його для правильного відображення. Проте процес введення кожного питання окремо займає багато часу. Водночас при спробі створити звичайним чином файл GIFT чи XML для автоматичного завантаження бази питань з навчальним матеріалом багатьох освітніх компонент IT-напрямку і імпортувати його в систему виникають помилки з неправильним розмежуванням матеріалу, які схожі на наслідок неправильної розмітки відповідних форматів. Такі проблеми виникають через співпадіння спеціальних символів розмітки форматів GIFT чи XML та деяких частин навчального матеріалу. Наприклад синтаксис різних мов програмування, CSS-стилів, HTML та інших видів розмітки передбачає використання таких самих умовних символів, як і розмітка файлів формату GIFT чи XML. Такими символами можуть бути: ~, =, #, {, }. Також деякі інші (наприклад: //, :, [,], «, <, >), відповідно до формату розмітки.

Отже виникає ситуація, коли текст, який потрібно ввести, містить символи, які водночас використовуються для розмежування складових частин файлу і система при завантаженні сприймає їх за умовні службові символи розмітки, після чого виникає збій у правильному розпізнанні де починається і закінчується саме питання, де розпочинається і завершується блок відповідей, де початок і закінчення кожної з варіантів відповідей, яка з відповідей правильна, а яка ні.

Наприклад, питання по мові CSS може передбачати варіант відповіді в такому стилі:

```
#note {
    background-color: yellow;
}
```

Тестові завдання з HTML можуть містити наступний текст:

```
<a href=#mailto:example@gmail.com#>E-mail</a>
```

При цьому у форматі GIFT фігурні дужки використовуються для відмежування блоку відповідей на запитання, символ «#» – для позначення відгуків на відповіді, символ «=#» – для позначення правильної відповіді. Схожа ситуація з форматом XML, який теж є мовою розмітки і використовує такі самі символи синтаксису (наприклад: <, >, «, /) як і HTML.

Одне з рішень цієї проблеми, полягає у відмежуванні тексту питань від умовних символів розмітки. При цьому потрібно враховувати формат, для якого здійснюється форматування. Наприклад у форматі GIFT для відмежування символів ~, =, #, {, }, : передбачено спеціальний символ екранування зворотний штрих»\», використовуючи який перед спеціальним символом, наприклад «\{«, можна його екранувати. Таким чином він не буде розпізнаватися як спеціальний і не впливатиме на розмітку, а на екрані в тексті запитання відобразатиметься просто символ «{«. Окрім символної проблеми існує потреба у відповідному відображенні форматування тексту, для правильного сприйняття, з усіма відступами та окремими рядками, що властиво для блоків програмного коду, як це продемонстровано вище у прикладі з CSS. У форматі GIFT це можна вирішити за допомогою використання комбінації символів «\n», які утворять новий рядок:

```
\#note \{\n    background-color: yellow;\n}\n.
```

Також слід пам'ятати про можливість власного синтаксису заданих форматів тексту в GIFT, які оформлюються квадратними дужками та декларуються в коді перед текстовим блоком, тобто перед текстом запитання, або між назвою запитання (якщо вона задана) та текстом запитання: [html], [moodle], [plain] та [markdown]. Формат [markdown] розширює можливості додатковим синтаксисом

та чутливий до пробілів. Формат простого тексту [plain] дає можливість відображення тексту таким, як він є заданим, проте слід пам'ятати про екранування символів, які співпадають з умовними службовими загального формату GIFT, а також байдужість [plain] до різного роду пробілів та відступів. При потребі можна комбінувати потрібний текст із заміною службових GIFT-символів HTML-кодуванням спеціальних символів, наприклад код `{`; позначатиме символ «{». Система розпізнаватиме їх відповідно, та на екрані відобразатиметься потрібний текст. Окрім того таким кодуванням можна імітувати форматування використовуючи, наприклад, спеціальні коди для пробілів.

Формат [html] розширює можливості синтаксису до HTML-розмітки. Проте слід правильно формувати структуру елементів, екранувати символи, які співпадають зі службовими GIFT та замінити в тексті спеціальним кодуванням символи, що співпадатимуть із службовими HTML. Зате одною з переваг є те, що у цьому форматі можна скористатися HTML-тегами (`
`, ``, `<mark>` та інші) для стилізації чи форматування так само, як і при написанні верстки веб-сторінки. Наприклад тег-контейнер `<pre> </pre>` визначатиме блок попередньо форматованого тексту. В такому випадку стрічка CSS-коду виглядатиме так:

```
<p><pre>\#note \{
  background-color\: yellow;
}\</pre></p>
```

Водночас текст зі стрічкою HTML слід оформити замінюючи службові символи HTML:

```
<p>&lt;a href=»mailto:example@gmail.com»&gt;E- mail&lt;/a&gt;</p>
```

Важливо правильно розрізнити текст, який потрібно подати у запитанні, та частину розмітки, яка його оформлює. При цьому для оформлення, поряд із символами екранування, ми можемо використовувати також інші службові GIFT-символи, наприклад: `<\n>`, `<#>`.

Окремий формат файлів імпорту-експорту XML передбачає певний стандарт запису спеціальною мовою розмітки за допомогою тегів-контейнерів із ієрархічною структурою побудови для всіх службових частин файлу із можливістю вказання потрібних параметрів для типів питань, форматів, оцінювання та іншого. Слід дотримуватися правил запису, структури документа та використовувати спеціальні теги для кожної з його частин. Потрібно пам'ятати, що вбудовані фрагменти тексту HTML мають бути в спеціальних розділах CDATA. У всьому іншому, можна дотримуватися вже описаного принципу запису у форматі HTML. Приклад оформлення правильного варіанта відповіді для тестового питання, який містить HTML:

```
<answer fraction=»100» format=»html»>
  <text><![CDATA[<p>&lt;a href=»mailto:example@gmail.com»&gt;E-mail&lt;/a&gt;</p>]]></text>
</answer>
```

Висновки. Згадані способи адаптування навчальних матеріалів дають можливість систематизувати та прискорити процес поповнення бази не тільки для освітніх компонент ІТ-напрямку, а й для інших з подібними особливостями: математика, фізика, хімія тощо.

Також слід відмітити, що дані способи оформлення матеріалів є корисними не тільки для імпортування тестових запитань в системі Moodle, а й для створення завдань та інших матеріалів, оскільки в даній платформі вони реалізуються

конструкторами у веб-форматі з можливістю редагування коду HTML-розмітки. Таким чином при потребі розмістити в тексті задання частини кодів з спеціальними символами, які співпадають з розміткою сторінки, їх слід також відповідно оформляти.

Загалом дані способи обробки можна реалізовувати як простими редакторами чи редакторами коду, так і автоматизувати процес шляхом написання спеціальних програм або макросів для застосування до великих обсягів матеріалів, оскільки сам процес адаптації зводиться до заміни відповідних частин коду. На етапі оцінки матеріалів для завантаження слід визначитися із обраним форматом, оскільки, хоч вони і взаємозамінні, проте процес оформлення може бути більш трудомістким. З іншої сторони формати на зразок XML мають більш чітку структуру і можливість налаштувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Голошук Р.О., Довбуш О.О. Використання програмного забезпечення Moodle та Adobe для організації електронного навчання. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2010. № 673. С. 249–258.

2. Морзе Н.В., Буйницька О.П., Варченко-Троценко Л.О. Створення сучасного електронного курсу в системі MOODLE: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О.А., 2016. 232 с.

3. Інформаційна система управління навчанням : навчальний посібник / О.В. Гринчак та ін. Умань: Візаві, 2019. 460 с.

4. Мінтій І.С., Мінтій М.М., Шокалюк С.В. Імпорт питань в систему управління навчанням Moodle. *MoodleMoot Ukraine 2019. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle* : матеріали 7-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 24 травня 2019 р. URL: <http://2019.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=5> (дата звернення 20.11.2023).

5. Костишин С.О., Карпінський М.П., Аляшевич Я. Імпортування тестових запитань у віртуальне навчальне середовище. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2007. Т. 12, № 4. С. 135–140.

6. Fuhrman Christopher. Creating questions quickly in Moodle with GIFT. URL: <https://fuhrmanator.github.io/2020/12/18/Creating-questions-quickly-with-GIFT.html> (дата звернення 20.11.2023).

7. Fuhrman Christopher. Getting the most from markdown in GIFT. URL: <https://fuhrmanator.github.io/2021/12/15/markdown-in-gift.html> (дата звернення 20.11.2023)

8. Moodle: Import questions. URL: https://docs.moodle.org/400/en/Import_questions (дата звернення 20.11.2023).

REFERENCES:

1. Holoshchuk, R. O., & Dovbush, O. O. (2010). Vykorystannia prohramnoho zabezpechennia Moodle ta Adobe dlia orhanizatsii elektronnoho navchannia [Utilization of Moodle and Adobe software for organizing e-learning]. *Visnyk NU "Lvivska politekhnika" – Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, 673, 249–258 [in Ukrainian].

2. Morze, N. V., Buinytska, O. P., & Varchenko-Trotsenko, L. O. (2016). *Stvorennia suchasnoho elektronnoho kursu v systemi MOODLE [Creation of a modern e-learning course in the MOODLE system]*. KamianetsPodilskyi: PP Buinytskyi O.A. [in Ukrainian].

3. Hrynychak O.V., Davletkhanova O.Kh., Dluhoborska L.V., Kyslytsia M.A., Kontseba S.M., Marin B.M. et al. (2019). *Informatsiina sistema upravlinnia navchanniam [Information System for Learning Management]*. Uman: Vizavi [in Ukrainian].

4. Mintii, I. S., Mintii, M. M., & Shokaliuk, S. V. (2019). Import pytan v systemu upravlinnia navchanniam Moodle [Importing questions into the Moodle Learning Management System]. *MoodleMoot Ukraine 2019. Teoriia i praktyka vykorystannia systemy upravlinnia navchanniam Moodle – MoodleMoot Ukraine 2019. Theory and Practice of Using the Moodle Learning Management System: Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference*. Retrieved from <http://2019.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=5> [in Ukrainian].
 5. Kostyshyn, S. O., Karpynskiy, M. P., & Aliashevych, Ya. (2007). Importuvannia testovykh zapytan u virtualne navchalne seredovyshche [Importing Test Questions into the Virtual Learning Environment]. *Visnyk Ternopilskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu – Journal of Ternopil State Technical University*, 12(4), 135–140 [in Ukrainian].
 6. Fuhrman, C. (2020) Creating questions quickly in Moodle with GIFT. *Blogging Allowed* Retrieved from <https://fuhrmanator.github.io/2020/12/18/Creating-questions-quickly-with-GIFT.html> [in English].
 7. Fuhrman, C. (2021) Getting the most from markdown in GIFT. *Blogging Allowed* Retrieved from <https://fuhrmanator.github.io/2021/12/15/markdown-in-gift.html> [in English].
 8. Import questions – MoodleDocs. (n.d.). *MoodleDocs*. https://docs.moodle.org/400/en/Import_questions [in English].
-

УДК 004.5

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.10>

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНТЕРФЕЙСІВ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ІГОР

Хорошевська І. О. – кандидат економічних наук, доцент,

доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій

Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

ORCID ID: 0000-0001-8990-9891

Лапіна А. А. – магістр II року навчання

освітньої програми «Технології електронних мультимедійних видань»

спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія»

Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

ORCID ID: 0009-0002-5546-2774

У статті надається комплексний огляд основних аспектів розроблення інтерфейсів для мобільних ігор, зокрема наголошується на важливості дизайну та функціональності. Розглянуто ключові правила та принципи, що впливають на користувацький досвід та успішність ігор, такі як візуальна привабливість, використання жестів, внутрішньої-ігрові підказки, мінімізація зайвих складових та психологія гравців. Також у статті розглядають компоненти ігрового інтерфейсу, знання яких допомагає більш глибоко зрозуміти структуру мобільних ігор та розробити якісний дизайн. Крім того, в рамках статті виділяються поширені помилки, яких дизайнери мобільних ігор повинні уникати, зокрема: занадто велика кількість різних стилів, неузгодженість між елементами дизайну, недооцінка важливості розміщення кнопок, поганий контраст та інше. Також, слід врахувати такий аспект, що те, що є інтуїтивно зрозумілим для дизайнера при розробленні інтерфейсу гри, може не відповідати сприйняттю гравців, бути їм незрозумілим. Тому треба вивчати свою цільову аудиторію та орієнтуватися на її сприйняття, а не на власні вподобання дизайнера. Наведені особливості допоможуть дизайнерам створювати більш привабливі та зрозумілі інтерфейси для мобільних ігор, які будуть сприяти покращенню загального ігрового досвіду гравців та збільшувати популярність ігор на ринку.

Також, в статті наведено компоненти користувацького інтерфейсу ігор, які є важливою частиною ігрового додатку, що можна розглядати як основу для формування ігрового досвіду гравця. Розглянуто та наведено візуальний вигляд трьох типів компонентів, а саме: недісгетичних, дісгетичних та просторових компонентів.

Важливо враховувати, що мобільні ігри є особливим жанром, де ефективний інтерфейс грає вирішальну роль у привабливості гри для користувачів та їхньому задоволенні від процесу гри. Матеріал даної статті може розглядатися, як джерело інформації для розробників інтерфейсів мобільних ігор, які прагнуть створювати успішні проекти.

Ключові слова: дизайн, інтерфейс, мобільна гра, функціональність, ігрові компоненти.

Khoroshevskaya I. O., Lapina A. A. Features of the development of interfaces for mobile games

The article provides a comprehensive overview of the main aspects of designing interfaces for mobile games, emphasizing in particular the importance of design and functionality. Key rules and principles affecting the user experience and success of games, such as visual appeal, use of gestures, in-game hints, minimization of redundant components, and player psychology, are discussed. The article also considers the components of the game interface, the knowledge of which helps to better understand the structure of mobile games and develop a quality design. In addition, the article highlights common mistakes that mobile game designers should avoid, including too many different styles, inconsistency between design elements, underestimating the importance of button placement, poor contrast, and more. Also, it should be taken into account that what is intuitive to the designer when developing the game interface may not correspond to the perception of the players and may be incomprehensible to them. Therefore, it is necessary to study your target audience and focus on their perception, and not on the designer's own preferences. These features will help designers create more attractive and understandable

interfaces for mobile games, which will contribute to improving the overall gaming experience of players and increase the popularity of games in the market.

Also, the article presents the components of the user interface of games, which are an important part of the game application and can be considered as the basis for the formation of the player's gaming experience. Three types of components are considered and visualized, namely: non-diegetic, diegetic, and spatial components.

It is important to consider that mobile games are a special genre where an effective interface plays a decisive role in the game's appeal to users and their satisfaction with the game process. The material of this article can be considered as a source of information for developers of mobile game interfaces who seek to create successful projects.

Key words: *design, interface, mobile game, functionality, game components.*

Постановка проблеми. Розробка ігрового інтерфейсу для мобільних ігор є складною задачею, яка вимагає особливого підходу та уваги до деталей. Мобільні ігри відрізняються від інших видів ігор тим, що вони взаємодіють із користувачем на невеликому екрані смартфона або планшета та мають не великий обсяг задіяних ресурсів. Однак ефективний інтерфейс в іграх грає ключову роль у забезпеченні привабливості гри для користувачів та їхньому задоволенню від процесу.

Отже, головною проблемою є необхідність розробки ігрових інтерфейсів, які будуть одночасно привабливими для гравців і функціональними на мобільних платформах, а також враховуватимуть психологічні особливості гравців. Ця стаття спрямована на висвітлення цієї проблеми та надання розробникам певних порад для успішної розробки ігрових інтерфейсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених темі створення дизайну мобільних ігор [1–9], показав, що на даний момент немає чіткого підходу до створення інтерфейсів мобільних ігор, який би враховував множину факторів, що впливають на якість дизайну, реалізацію головних принципів і правил розроблення інтерфейсу, компонентний склад мобільних ігор та уникнення поширених помилок. Варто зазначити, що в існуючих працях, в цілому, говориться про дані аспекти, однак, акценти більше робляться на окремих елементах інтерфейсу, таких як візуальний дизайн [1], анімація [2], керівництво по ігровому інтерфейсу [3], помилки при створенні дизайну [4], відмінність мобільний ігрових інтерфейсів від комп'ютерних [5–7], роль дизайну у іграх [8] чи використання конкретних жестів [9].

Отже, згідно із зазначеними дослідженнями, важливою задачею є розроблення комплексного підходу до створення інтерфейсів мобільних ігор, що враховуватиме усі ключові аспекти дизайну, включаючи візуальний аспект, взаємодію з гравцем та психологічні аспекти геймдизайну. Дана стаття спрямована на заповнення цієї прогалини. В ній надається комплексний погляд на процес розробки інтерфейсів мобільних ігор, враховуючи останні дослідження та публікації у цій сфері. Ми розглядаємо головні принципи, правила, компоненти та поширені помилки, що необхідно враховувати при створенні інноваційних та привабливих ігрових інтерфейсів, які задовольняють потреби сучасних гравців на мобільних платформах.

Постановка завдання. Ігри для мобільних пристроїв відрізняються за рядом аспектів, включаючи обмежені ресурси, особливості взаємодії з користувачем та психологічні аспекти геймплею. З урахуванням цих особливостей, завданням даної статті є проведення аналізу та систематизація факторів, які впливають на розробку ігрових інтерфейсів для мобільних ігор.

Метою статті є розкриття особливостей розроблення інтерфейсів для мобільних ігор.

Виклад основного матеріалу дослідження. З появою мобільних телефонів і планшетів, ігрова індустрія досить швидко адаптувалась до нових реалій. Мобільні ігри стали не просто розвагою, а цілою індустрією зі своїми законами та особливостями. Однією з найважливіших складових мобільних ігор є їхні інтерфейси. Дизайн мобільних ігор, в порівнянні з іншими, має певну специфіку, адже потрібно враховувати такі фактори, як прості способи вводу, інтуїтивно зрозумілі жести, відносно маленькій екран, так і обмеження потужності цільових пристроїв.

Інтерфейс мобільної гри – це точка взаємодії між користувачем та грою. Саме тому при створенні інтерфейсів дизайнер повинен поставити себе на місце гравців і подивитися на елементи з точки зору користувача. Тільки таким чином можна проектувати інтерфейс відповідно до потреб гравців і запобігти появі найбільш поширених помилок. Як правило, інтерфейс гри призначений для повного залучення гравців та стимулювання їх до покупок, будь то внутрішні покупки в межах гри чи придбання додаткового контенту. Ця мета відрізняється від інтерфейсів на веб-сайтах або в застосунках. Отже важливо знати базові правила створення якісних ігрових інтерфейсів.

Для залучення уваги гравців, дизайнерам необхідно вдосконалювати мистецтво створення привабливих візуальних ефектів. Завдяки сміливим кольоровим рішенням, вражаючим ілюстраціям, видатним шрифтам та іншим креативним засобам, дизайнери здатні сформувати неповторну атмосферу в грі. Ця атмосфера зачаровує гравців і перетворює кожен взаємодію з грою в захоплюючий досвід, де кожен кадр або елемент інтерфейсу створюється з розрахунком на створення враження та відчуття задоволення. Привабливі візуальні ефекти відкривають перед гравцями магічний світ гри, що допомагає їм повністю погрузитися в ігровий світ і відчуття всю його привабливість.

Також полегшує взаємодію гравців із мобільною грою використання інтуїтивно зрозумілих жестів та надійних тригерів, які роблять гру більш доступною та захоплюючою. Серед таких тригерів можна виділити такі жести, як легке проведення пальцем по екрану, постукування по ньому або інші подібні рухи. Ці жести дозволяють гравцям взаємодіяти з грою в натуральний спосіб, використовуючи лише свої пальці, і це гарантує швидку та ефективну реакцію на їхні дії. Такий дизайн інтерфейсу сприяє тому, що гравці можуть легко освоювати гру і насолоджуватися нею, мінімізуючи при цьому труднощі з інтерфейсом.

У світі мобільних ігор, важливо надати гравцям зручний та ефективний спосіб освоєння гри. Одним із підходів до цього є використання коротких пояснень та підказок, що надаються гравцям крок за кроком. Відмінною особливістю ігрових інтерфейсів є те, що вони частіше не нав'язують довгих інструкцій чи пояснень, а надають рекомендації саме в той момент, коли гравцеві це дійсно потрібно. Це може стосуватися відповідних кроків гри або розблокування нових функцій. Такий підхід допомагає гравцям більш ефективно освоювати гру, зберігаючи високий рівень інтересу та захоплюючи до подальшого дослідження ігрового світу.

Далі розглянемо зосередженість на грі. Це один із важливих аспектів оптимізації користувацького досвіду в мобільних іграх. Для забезпечення того, щоб гравці могли повністю поглинутися в ігровий процес та не відволікатися на надмірні деталі, в ігрових інтерфейсах часто мінімізують зайві складові. Це дозволяє гравцям зосередитися виключно на найважливіших аспектах гри, зокрема на центральній частині екрану. Такий підхід сприяє підвищенню іммерсії та поглиблює геймплей, роблячи його більш цікавим та захоплюючим для користувачів.

Також дуже важливо враховувати психологію гравців, при розробленні користувацького інтерфейсу. Розробники повинні мати на увазі, що добробут користувачів настільки ж важливий, як і дохід, який вони приносять. Створення інтерфейсу, який не викликав би надмірного звикання гравців і в той же час був би націлений на високу віддачу, є вельми важливим завданням. Важливо уникати надмірного звикання гравців до інтерфейсу, а також створювати дизайн, який забезпечує комфорт та задоволення користувачів, що в свою чергу сприяє підвищенню їх активності в грі та формуванню позитивного відношення до неї.

Врахування різних методів передачі інформації в мобільних іграх має важливе значення для забезпечення доступності гри для всіх гравців, незалежно від їх можливостей. Це робить користувачів більш включеними в гру, сприяє розширенню цільової аудиторії. Доступність інтерфейсу робить користування грою зручнішою не лише для осіб з особливими потребами, а й для всіх гравців. Наприклад, використання не лише аудіальних, а й візуальних елементів для передачі важливої інформації дозволяє гравцям використовувати гру в різних умовах, включаючи ситуації, коли вони не можуть використовувати звук, наприклад, вночі, в загальнодоступних місцях.

Мобільні ігри, схожі на веб-сайти або мобільні застосунки, володіють спільними компонентами інтерфейсу користувача, які допомагають гравцям переміщуватися, шукати інформацію та досягати поставлених цілей. Від початкових екранів до лічильників монет – ці компоненти користувацького інтерфейсу ігор становлять важливу частину ігрового досвіду. Існують три типи таких компонентів: недієгетичні, дієгетичні та просторові.

Недієгетичні компоненти інтерфейсу користувача (рис. 1) розташовані за межами ігрового сюжету та ігрового простору.

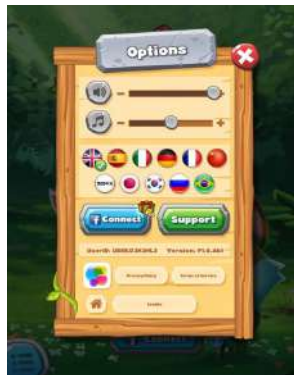


Рис. 1. Недієгетичний компонент інтерфейсу [10]

Іншими словами, це всі елементи інтерфейсу, які не належать до внутрішнього світу гри і не взаємодіють з персонажами чи подіями у грі. Такі компоненти зазвичай з'являються в іграх як меню, жести для переміщення між різними частинами гри та управління основними параметрами гри, лічильники статистики. Вони відстежують бали, час, пошкодження та різні ресурси, які гравці накопичують та витрачають під час гри. Ці компоненти допомагають гравцям зручно орієнтуватися в грі та взаємодіяти з нею.

Дієгетичні компоненти інтерфейсу (рис. 2) в контексті мобільних ігор представляють собою елементи, які існують в межах ігрового світу і взаємодіють з персонажами, об'єктами або подіями гри.



Рис. 2. Дієгетичний компонент інтерфейсу [11]

Вони створюють відчуття спільності між гравцем і ігровим світом. Це можуть бути фізичні об'єкти в грі, з якими гравець може взаємодіяти. Наприклад, двері, які гравець може відкрити, кнопка в ліфті, або прилади на кермі космічного корабля. Дієгетичні компоненти інтерфейсу сприяють поглибленню гравця в ігровий світ та створюють можливості для вираження його власної взаємодії з грою.

Компоненти просторового інтерфейсу користувача знаходяться в просторі гри, але персонажі в грі їх не бачать. Просторові компоненти часто працюють як наочні посібники, допомагаючи гравцям вибирати об'єкти або вказуючи на важливі орієнтири. Текстові мітки є класичним прикладом просторових компонентів інтерфейсу користувача.



Рис. 3. Просторові компоненти [12]

Розуміння цих компонентів є вельми суттєвим при створенні дизайну мобільних ігор. Вони є ключовими для створення інтерактивного та захопливого ігрового досвіду, який відповідає потребам користувачів та забезпечує оптимальну ефективність ігрового процесу. Наявність глибокого розуміння цих компонентів допомагає розробникам вирішувати складні завдання та вдосконалювати ігровий інтерфейс, забезпечуючи найкращий досвід для гравців.

Розробка ігор для мобільних платформ є захопливою, але вимагає обережності та уваги до деталей. В цьому контексті, варто відзначити деякі поширені помилки, яких дизайнери мобільних ігор повинні уникати, щоб створити якісний інтерфейс і задовольнити потреби гравців.

Однією з найпоширеніших помилок в дизайні користувальницького інтерфейсу мобільних ігор є неузгодженість між елементами дизайну. Якщо між елементами дизайну виникне невідповідність, це викличе невдоволення користувачів. Для забезпечення послідовного дизайну важливо уникати використання занадто великої кількості різних стилів. Натомість, наявність рівномірного дизайну буде сприяти створенню відчуття впевненості та викликати приємні враження у користувачів гри.

Деякі дизайнери вважають, що надання гравцям більше інформації допоможе їм краще зрозуміти концепцію гри, але ця думка є хибною. Важливим аспектом в дизайні користувальницького інтерфейсу мобільних ігор є простота і легкість передачі повідомлень гравцям. Тому використання зрозумілих і відомих елементів, які сприймаються аудиторією, може вирішити цю проблему та забезпечити краще розуміння гри.

Погане розміщення кнопок може стати серйозною перешкодою для гравців в деяких іграх, де потрібно виконувати багато різних дій. Важливо забезпечити гравцям зручність і легкість у грі, правильно розташовуючи кнопки. Особливо важливо, щоб кнопки з важливими діями знаходилися на відстані від інших елементів, щоб уникнути їхньої ненавмисної активації.

Створення відчутного контрасту в інтерфейсі мобільної гри є однією з ключових складнощів дизайну. Поганий контраст між елементами може призвести до того, що всі вони будуть виглядати схоже, що знижує інтерес користувача. Наприклад, розташування зеленої кнопки на зеленому тлі є неефективним. Використання відмінних кольорів привертає увагу і полегшує сприйняття інформації. Контраст може слугувати потужним засобом для передачі важливих повідомлень. Виділення небезпечних і безпечних зон червоним і зеленим кольорами допомагає гравцям швидко зрозуміти ситуацію.

Також доволі поширена помилка – вважати те, що зрозуміло та інтуїтивно ясно для дизайнера, відповідає і сприйняттю гравця. Важливо пам'ятати, що те, що здається очевидним у процесі створення інтерфейсу гри може бути незрозумілим та заплутаним для користувача. Щоб забезпечити гармонійний іммерсивний досвід гри, дизайнерам мобільних ігор необхідно використовувати інтуїтивні та знайомі гравцям елементи в дизайні користувацького інтерфейсу. Цей підхід спонукає гравців легше та природніше взаємодіяти з елементами гри та зрозуміти її мету, навіть без докладного вивчення інструкцій або підказок. Враховуючи прагнення гравців до простоти та зручності, інтуїтивний дизайн є надзвичайно важливим аспектом створення успішних мобільних ігор.

Інтерфейс користувача – це ключовий спосіб взаємодії гравця з мобільною грою. Він подібний до мови, якою гра спілкується зі своїм гравцем, вказуючи шлях і розкриваючи те, що за лаштунками. Справжнє мистецтво полягає в тому,

щоб цю мову робити чіткою, привабливою та легкою для розуміння. Незважаючи на якість гри, якщо інтерфейс не подарує гравцю комфорту та насолоди взаємодії, це може лишити «гіркий присмак» та негативно вплинути на отриманий досвід в грі. Тож розробники мобільних ігор повинні приділяти особливу увагу створенню інтуїтивних, ефективних та естетично вдосконалених інтерфейсів, які зроблять взаємодію з грою найприємнішою для кожного гравця.

Висновки. В статті наведено особливості, що впливають на розробку ігрових інтерфейсів для мобільних ігор. На основі проведеного аналізу було виявлено, що успішний дизайн інтерфейсу вимагає комплексного підходу в основу якого повинна бути покладена узгодженість дизайну інтерфейсу за візуальною привабливістю, функціональністю та психологією гравців.

Надалі планується дослідити питання окреслення кола чинників, які впливають на розроблення дизайну мобільної інтерактивної гри для дітей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. How to Make Mobile Game UI Design. URL: <https://mdevelopers.com/blog/how-to-make-mobile-game-ui-design> (дата звернення 20.10.2023 р.).
2. Animated video for mobile games. URL: <https://darvideo.tv/blog/animated-video-for-mobile-games-or-how-animation-makes-games-more-engaging/> (дата звернення 21.10.2023 р.).
3. Level Up: A Guide to Game UI (with Infographic). URL: <https://www.toptal.com/designers/gui/game-ui> (дата звернення 12.09.2023 р.).
4. The Problems with UI Design in Mobile Games Dev. URL: <https://medium.com/@etiennebadia/the-problems-with-ui-design-in-mobile-games-dev-d07e59e4b625> (дата звернення 24.10.2023 р.).
5. What is the Difference Between Web App & Mobile App? URL: <https://codeinstitute.net/global/blog/web-app-vs-mobile-app/> (дата звернення 25.10.2023 р.).
6. PC Gaming vs. Mobile Gaming: Which is the best for gaming? URL: <https://www.onmo.com/trending/pc-gaming-vs-mobile-gaming-which-is-the-best-for-gaming/> (дата звернення 01.11.2023 р.).
7. Difference Between Mobile and PC Game Development. URL: <https://www.juegostudio.com/blog/difference-between-mobile-and-pc-game-development> (дата звернення 01.11.2023 р.).
8. The role of user interface and user experience design in video games. URL: <https://trymata.com/blog/2022/02/23/role-of-user-interface-and-user-experience-design-in-video-games/> (дата звернення 03.11.2023 р.).
9. Using Gestures in Mobile Game Design. URL: <https://www.gamedeveloper.com/design/using-gestures-in-mobile-game-design> (дата звернення 02.11.2023 р.).
10. Pinterest: Ігри. URL: <https://www.pinterest.com/pin/859906122575712483/> (дата звернення 05.11.2023 р.).
11. Pinterest: Цифрові Ілюстрації. URL: <https://pin.it/5XDYJUW> (дата звернення 06.11.2023 р.).
12. Pinterest: Кольори. URL: <https://pin.it/79iEAwe> (дата звернення 07.11.2023 р.).

REFERENCES:

1. How to Make Mobile Game UI Design. Retrieved from: <https://mdevelopers.com/blog/how-to-make-mobile-game-ui-design> (accessed 20 Oct. 2023).
2. Animated video for mobile games. Retrieved from: <https://darvideo.tv/blog/animated-video-for-mobile-games-or-how-animation-makes-games-more-engaging/> (accessed 21 Oct. 2023).
3. Level Up: A Guide to Game UI (with Infographic). Retrieved from: <https://www.toptal.com/designers/gui/game-ui> (accessed 12 Sep. 2023).

4. The Problems with UI Design in Mobile Games Dev. Retrieved from: <https://medium.com/@etiennebadia/the-problems-with-ui-design-in-mobile-games-dev-d07e59e4b625> (accessed 24 Oct. 2023).
 5. What is the Difference Between Web App & Mobile App? Retrieved from: <https://codeinstitute.net/global/blog/web-app-vs-mobile-app/> (accessed 25 Oct. 2023).
 6. PC Gaming vs. Mobile Gaming: Which is the best for gaming? Retrieved from: <https://www.onmo.com/trending/pc-gaming-vs-mobile-gaming-which-is-the-best-for-gaming/> (accessed 01 Nov. 2023).
 7. Difference Between Mobile and PC Game Development. Retrieved from: <https://www.juegostudio.com/blog/difference-between-mobile-and-pc-game-development> (accessed 01 Nov. 2023).
 8. The role of user interface and user experience design in video games. Retrieved from: <https://trymata.com/blog/2022/02/23/role-of-user-interface-and-user-experience-design-in-video-games/> (accessed 03 Nov. 2023).
 9. Using Gestures in Mobile Game Design. Retrieved from: <https://www.gamedeveloper.com/design/using-gestures-in-mobile-game-design> (accessed 02 Nov. 2023).
 10. Pinterest: Games. Retrieved from: <https://www.pinterest.com/pin/859906122575712483/> (accessed 05 Nov. 2023).
 11. Pinterest: Tsyfrovi Iliustratsii [Digital Illustrations]. URL: <https://pin.it/5XDYJUW> (accessed 06 Nov. 2023).
 12. Pinterest: Kolory [Colors]. URL: <https://pin.it/79iEAwe> (accessed 07 Nov. 2023).
-

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.661.2:005.591.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.11>

ВИКОРИСТАННЯ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Горач О. О. – доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002

Полодюк Р. І. – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
другого року навчання
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0005-3272-1720

Останні роки все більшого попиту мають функціональні продукти харчування. Відомо, що їх створюють з метою покращення традиційних продуктів харчування, шляхом підвищення харчової цінності, збагаченням нутрієнтами чи наділенням дієтичними або лікувальними властивостями. Дані вироби попри вищу ціну, набувають все більшого попиту завдяки кращій якості та корисного впливу на організм. Дана тенденція з розробки функціональних рецептур стосується майже всіх галузей харчової промисловості, а особливо виробництво хлібобулочних виробів.

До найперспективніших способів фортифікації хлібобулочних виробів належать наступні: часткова заміна пшеничного борошна іншими видами, а також використання різних рослинних добавок. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки і є перспективними для галузі, оскільки завдяки ним можна розширити асортимент спеціальної продукції та покращити споживчі властивості готових виробів. В роботі наведені результати теоретичних досліджень з використанням лікарської рослинної сировини у виробництві хлібобулочних виробів функціонального призначення.

На основі проведених досліджень, обґрунтовано використання вітчизняної рослинної сировини, яка має лікувальні властивості, а саме м'яти, ромашки, кульбаби в рецептурному складі хлібобулочних виробів. Проаналізовано хімічний склад основних інгредієнтів рослинної сировини, які використовуються як функціональні інгредієнти в рецептурі хлібобулочних виробів. Встановлено, що використання в якості харчових добавок рослинної сировини, як порошок м'яти, ромашки та кульбаби, в раціональному співвідношенні дозволяє отримати хлібобулочні вироби з функціональними властивостями високої якості.

Ключові слова: пшеничне борошно, м'ята, ромашка, кульбаба, хлібобулочні вироби, функціональний продукт.

Gorach O. O., Polodyuk R. I. The use of medicinal plant raw materials in the technology of manufacturing functional bakery products

Functional food products have been in increasing demand in recent years. It is known that they are created with the aim of improving traditional food products, by increasing the nutritional value, enriching with nutrients or endowment with dietary or medicinal properties. These products, despite the higher price, are gaining more and more demand due to better quality and beneficial effects on the body. This trend in the development of functional recipes applies to almost all branches of the food industry, and especially the production of bakery products.

The most promising methods of fortification of bakery products include the following: partial replacement of wheat flour with other types, as well as the use of various vegetable additives. Each of these methods has its own advantages and disadvantages and is promising for the industry, as thanks to them it is possible to expand the range of special products and improve the consumer properties of finished products. The paper presents the results of theoretical studies using medicinal plant raw materials in the production of functional bakery products.

On the basis of the conducted research, the use of domestic plant raw materials that have medicinal properties, namely mint, chamomile, and dandelion in the recipe composition of bakery products, is substantiated. The chemical composition of the main ingredients of plant raw materials, which are used as functional ingredients in the recipe of bakery products, was analyzed. It has been established that the use of plant raw materials as food additives, such as mint, chamomile and dandelion powder, in a rational ratio allows to obtain bakery products with functional properties of high quality.

Key words: wheat flour, mint, chamomile, dandelion, bakery products, functional product.

Постановка проблеми. Повноцінне харчування є запорукою здоров'я населення, оскільки їжа є одним із найвагоміших факторів, що впливає на людський організм протягом всього життя. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, більше половини калорій щоденного раціону повинні складатися з хліба, злакових продуктів, макаронних виробів, рису або картоплі. Відповідно до рекомендацій сучасної МОЗ, щодня варто з'їдати 1–2 порції круп'яних і борошняних виробів, при цьому частка цільнозернових продуктів має становити 50% від загального споживання [1].

Останні роки в Україні спостерігається погіршення здоров'я населення, причиною чого є незбалансоване харчування – перевага легких вуглеводів, тваринних жирів, цукру, недостатня кількість вітамінів тощо. Також стан війни похитнув купівельну спроможність населення, через що виникає потреба у збагаченні продуктів необхідними нутрієнтами для підтримки стану здоров'я населення.

Хлібобулочні вироби є однією з найпоширеніших груп продуктів, які займають значне місце у добовому раціоні споживачів. Дана ланка товарів попри важкі умови залишається доступною для всіх груп населення. Хліб та хлібобулочні вироби є джерелом вуглеводів, білків та вітамінів. Хлібобулочні вироби добре втамовують голод та забезпечують організм енергією на тривалий проміжок часу. Попри це, борошняні вироби мають ряд недоліків, через що їх вміст у раціоні має відповідати нормам [2–4]. До типових недоліків даних продуктів відносять високу калорійність, незбалансований амінокислотний склад та низький вміст вітамінів, тощо.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що актуальним завданням для харчової галузі є збагачення хлібобулочних виробів необхідними вітамінами, мінералами, нутрієнтами та харчовими волокнами для підвищення їх біологічної та харчової цінності.

Метою дослідження є визначення перспективних напрямів використання вітчизняних рослинних добавок у технології пшеничного хліба та розробка оптимального рецептурного складу хлібобулочних виробів функціонального призначення.

Аналіз останніх даних і публікацій. На основі проведених теоретичних досліджень, встановлено, що вітчизняна хлібобулочна галузь задовольняє потреби

населення у продуктах, незважаючи на часткове зниження виробництва [5]. Але при цьому на ринку борошняних виробів недостатня кількість виробів функціонального призначення, до яких відноситься продукція профілактичного та дієтичного напрямків. Ця ланка товарів не є поширеною в Україні через ряд причин, до яких можна віднести їх собівартість, трудомісткість виробництва, відсутність нормативної бази та ін..

Споживання лляного насіння і олії з льону зараз дуже стало актуальним в харчовій промисловості. Лікувальний ефект лляного насіння полягає у тому, що воно містить лігнани, що мають широкий спектр біологічної активності з антибактеріальним, антивірусним і антигрибковим ефектом. Протиракову дію мають поліненасичені жирні кислоти, розчинні харчові волокна, їх називають еліксиром молодості, що містяться в лляному насінні. У зв'язку з цим льон олійний став сировиною не тільки для олійно-жирової продукції, але і для виробництва широкого асортименту продуктів: хлібобулочних, круп'яних, кондитерських, кулінарних, а також використовується в якості харчових добавок на основі продуктів переробки льону [6–8].

На основі проведених досліджень з вивчення основних напрямів створення функціональних рецептур хлібобулочних виробів, можна зробити висновок, що чимало досліджень присвячено збагаченню хліба за рахунок нутрієнтів. Проаналізувавши їх можна зробити наступний висновок, що для України найперспективнішими методами покращення технології борошняних виробів є використання цільнозернового борошна у виробництві, заміна частини сировини борошном інших культур, а також використання рослинних добавок.

Використання цільнозернового борошна – найдоцільніший спосіб фортифікації хліба, який не потребує додаткових ресурсів, а навпаки дозволяє зменшити витрати на виробництво. При очищенні зерна від оболонки воно втрачає більшу частину своїх корисних речовин. Цільнозернове борошно має більший вміст вітамінів та мінералів, зокрема групи В. Доведено, що продукція, виготовлена з такого борошна краще засвоюється та є корисніша для травлення в цілому [8]. Переробка цільного зерна на крупи та борошно супроводжується зниженням вмісту вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон, що зумовлено видаленням зовнішньої оболонки, алеїронового шару та зародка зерна. Таким чином, порівняно з пшеничним борошном вищого сорту, цільнозернове пшеничне борошно має в 12,5 разів більше вмісту клітковини, у 5,8 разів вище вміст магнію, в 3,9 разів вище вміст фосфору, в 3,4 рази вище вмісту заліза, в 2,1 рази вище вміст кальцію і високий вміст вітаміну РР – 3,7. Вміст вітамінів групи В – у 2 рази, а також значну кількість вітаміну Е, тоді як пшеничне борошно вищого гатунку не містить вітаміну Е зовсім [8]. Крім типових зернових культур для покращення властивостей борошна використовуються і продукти їх переробки, а саме шроти та висівки.

Пшеничні висівки мають низьку калорійність, покращують роботу шлунково-кишкового тракту і сприяють виведенню надлишку холестерину і продуктів розпаду в організмі, сприяють зниженню рівня цукру в крові.

Комбінування видів борошна не є новим для хлібопекарської галузі. Для покращення властивостей виробу, а також з метою його збагачення використовується борошно з різних культур – рису, гречки, пшона тощо.

Відносно новим напрямком для галузі являється додавання рослинних добавок. Цей спосіб являється перспективним, оскільки він дозволить суттєво розширити ринок функціональних борошняних виробів, збагачених нутрієнтами. Рослинні добавки можна використовувати у різному вигляді – як порошок, екстракт,

пюре та інше. При цьому різна рослинна сировина дає різний ефект, завдяки чому кожен виріб є унікальним. Але попри це даний метод має недоліки. По-перше, це власне розробка функціональної продукції. Сировина не має погіршувати встановлені характеристики виробу і при цьому не завдавати шкоду організму та мати більший відсоток БАР, ніж у аналогів. По-друге, це відсутність нормативної бази, якими б контролювалося виробництво вже запатентованих виробів. Дотримуючись таких вимог можна зробити якісну функціональну продукцію, яка б відповідала вимогам та користувалась попитом у населення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення цього питання останнім часом все частіше використовують добавки з нетрадиційної рослинної сировини, оскільки вона є джерелом біологічно-активних речовин, що позитивно впливають на організм людини. Серед рослинної сировини інтерес дослідників привертає застосування червоної конюшини, люцерни та інших трав. Розроблені рецептури хлібобулочних виробів із застосуванням 3...4 % порошку з конюшини або її водно-спиртових розчинів. Також запатентовано спосіб виробництва хліба з додаванням люцерни у кількості 3,5...10 %. За цих умов готові вироби збагачувалися білковими речовинами і були рекомендовані до споживання з лікувальною метою [9, 10].

Підсумовуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що використання добавок із рослинної сировини у виробництві хлібобулочних виробів дозволяє розширити асортимент продукції, підвищити її поживну цінність, внести зміни в технологічний процес виробництва.

У якості об'єкта дослідження було обрано технологію приготування пшеничного хліба за класичною рецептурою. Предметом дослідження було обрано вітчизняну рослину сировину, а саме м'ята перцева, ромашку лікарську та кульбабу. Попередньо було проведено аналіз основної сировини, за результатами якого вона відповідала встановленим стандартам.

Рослинна сировина обиралася за наступними критеріями: доступність, багатий вітамінний склад та мінімальний шкідливий вплив на організм. Обрані добавки мають спільні ознаки, а саме усі вони використовуються у кулінарії, є сировиною для виробництва ліків та позитивно впливають на травну систему. До недоліків сировини відноситься їх алергічний вплив на окремих людей. Також їх не рекомендовано вагітним та людям із загостреними формами хвороб шлунково-кишкового тракту тощо.

М'ята перцева є поширеною рослиною в Україні і при цьому в нашій країні її вирощують у великій кількості. Від інших сортів вона відрізняється вищим вмістом ефірної олії, за яку м'ята і цінується. Доведено, що м'ята має значну антибактеріальну та протівірусну дію, сильний антиоксидантний і протипухлинний ефект, а також деякий антиалергічний потенціал *in vitro*. Рослина містить вітаміни С і В, рутин, каротин, мікро і макроелементи: залізо, мідь, цинк, марганець, магній, натрій, кальцій, фосфор, калій. З жиророзчинних вітамінів в м'ята перцева присутні А, Бета-каротин, Альфа-каротин, D, D2, D3, E, K. З водорозчинних – вітаміни С, В1, В2, В3, В4, В5, В6, В9, В12.

Рослина має багатий вітамінний та мінеральний склад. У сушеному вигляді 100 г м'яти задовольняють добову потребу організму у вітаміні А та С. Рослина також має виражені лікувальні властивості. Ментол, що міститься в м'яті стимулює апетит та покращує травлення і володіє заспокійливою дією. Рослина також наділена спазмолітичною, антисептичною, жовчогінною дією, а наявні речовини позитивно впливають на травлення, допомагають при нервовому збудженні,

безсонні [10, 11]. Співвідношення макро- і мікроелементів в м'яті перцевій наведено на рис. 1.

Ромашку здавна використовують як лікарську сировину через її широкий спектр корисних властивостей. Рослина має протизапальну, антисептичну, спазмолітичну, пом'якшувальну, в'язучу, жовчогінну, болетамувальну, протиалергічну дію [10, 11]. Суцвіття ромашки містять 0,2–0,8 % ефірної олії. Основною діючою речовиною є сесквітерпеновий лактон – хамазулін і його попередник рохамазулін; сесквітерпенові вуглеводи (фармазен і кадинін); сесквітерпенові спирти (бісаболл, бісабололоксид, кетонол); каприлову кислоту. Крім того, суцвіття містить органічні кислоти, такі як сесквітерпенові лактони матрікулін і матріол, флавоноїди, кумарини, ситостерин, холін, гіркі речовини, полісахариди, каротин, аскорбінову кислоту, ізовалеріанову кислоту та інші органічні кислоти.

Кульбаба є перспективною сировиною через ряд причин. До них відносяться невибагливість рослини до природніх умов, стійкість до шкідників та швидке розповсюдження, що робить її використання доцільним. Крім того, кожна частина рослини містить певну кількість корисних речовин, особливо коріння та власне квітка. Кульбаба багата вітамінами А, С та групи В [10, 11]. Масова частка хімічного складу полікомпонентних рослинних БАД наведено табл. 1.

Ефірна олія меліси містить цитраль, цитронеллаль, мірцен і гераніол. Порошок меліси містить аскорбінову кислоту, кавову кислоту, олеанолову кислоту, урсолову кислоту, дубильні речовини. Ефірна олія кропу містить такі компоненти, як карвон, фелландрен, клопіридол, терпінен. Крім того, насіння кропу містить вітаміни групи В (В1, В2), аскорбінову кислоту, нікотин, фолієву кислоту, флавоноїди – рутин, кверцетин, кемпферол. Плоди фенхелю містять: ефірні олії, стероїди, фенолкарбонові кислоти, кумарини, флавоноїди, жирні кислоти, дубильні речовини, віск, смоли та мінеральні речовини.

Порошок з кульбаби і жоржин багатий на фруктани. Коренеплоди і бульби містять аскорбінову кислоту, вітаміни В1, Е, холін, білок, жир, пектин, дубильні речовини, велику кількість макро- і мікроелементів. Ці порошки мають антиоксидантну дію, покращують роботу внутрішніх органів за рахунок тонізуючої дії та активізують ферментативні процеси.

Кількість		Добова норма
Кальцій (Ca)	243,0 мг	
Залізо (Fe)	5,1 мг	
Магній (Mg)	80,0 мг	
Фосфор (P)	73,0 мг	
Калій (K)	569,0 мг	
Натрій (Na)	31,0 мг	
Цинк (Zn)	1,1 мг	
Мідь (Cu)	0,3 мг	
Марганець (Mn)	1,2 мг	

Рис. 1. Співвідношення макро- і мікроелементів в м'яті перцевій

Таблиця 1
Масова частка хімічного складу полікомпонентних рослинних БАД, %

Рослинна сировина	Компоненти				
	екстрактивні речовини	загальна кількість вуглеводів	білкові речовини	лігніноподібні речовин	зола
М'ята польова	19,1	42,2	10,1	17,9	7,4
Меліса лікарська	19,8	41,8	9,8	18,4	7,2
Насіння кропу пахучого	20,5	29,4	20,1	18,9	8,7
Насіння кмину звичайного	21,3	28,7	19,6	19,7	8,5
Кульбаба лікарська	18,6	38,7	12,9	18,8	8,4

Для дослідження усі добавки використовувалися у порошкоподібному вигляді. У такий спосіб досягається рівномірне розподілення добавки по масі борошна. Перед контрольним випіканням досліджувався вплив добавок на вміст та якість клейковини. Відмічено, що їх вміст у кількості 3 % до маси борошна не впливав на вихід клейковини, при цьому її структура зміцніла, а розтяжність зменшилась. За даним показником уся клейковина відносилась до середньої.

Хліб виготовлявся безопарним способом, час бродіння пробного зразка склав 120 хв. Добавки вносились у кількості 3 % від маси борошна, тобто 7 г. Потрібно відмітити, що така кількість не суттєво впливала на тривалість бродіння. Час процесу у середньому складав 110–115 хв. Для усіх заготовок було характерним збільшення формостійкості виробу та покращення його органолептичних характеристик.

Готові вироби були пухкими, пружними, мали гарний м'якуш. Введення в рецептурний склад функціональних інгредієнтів не погіршили органолептичні показники, а тільки доповнювали їх. Наприклад, м'ята надала виробу запах ментолу, який стимулює апетит, а кульбаба – покращила пористість. Доведено, що одержаний хлібобулочний виріб з м'ятою добре впливає на органи травлення, зокрема усуває відчуття важкості у шлунку.

Висновки. Обґрунтовано, доцільність використання вітчизняної рослинної сировини за рахунок лікувальних властивостей м'яти перцевої, ромашки лікарської та кульбаби. Проаналізовано хімічний склад основних компонентів рослинної сировини, що використовувалася в якості функціональних інгредієнтів до рецептури хлібобулочних виробів. Таким чином, на основі проведених досліджень з використання рослинної сировини, в вигляді порошку м'яти перцевої, ромашки лікарської та кульбаби встановлено, як харчової добавки, можна отримати хлібобулочні вироби високої якості з функціональними властивостями. За органолептичними показниками хлібобулочні вироби характеризуються гарним зовнішнім виглядом, запахом та високою пористістю м'якуша.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Рентабельність близько нуля, але українці будуть із хлібом. Як працює хлібопекарська галузь в умовах війни. URL: <https://agroportal.ua/publishing/intervyu/rentabelnist-blizko-nulya-ale-ukrajinci-budut-iz-hlibom-yak-pracyuye-hlibopekarska-galuz-v-umovah-viyni>

2. Gorach O. Conceptual basis of the formulation of gluten-free products based on the use of domestic plant raw materials / Monografia. Moderní aspekty vědy: XXV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2022. p. 373–388.

3. Горач О.О. Обґрунтування інноваційних технологій функціональних рецептур. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 6. С. 52–58.

4. Олейникова С.О., Горач О.О. Розвиток інноваційних технологій створення продуктів харчування нового покоління. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 2. с. 164–169.

5. Кіпіоро І.М., Гусар А.О., Горач О.О. Використання альтернативних видів сировини з метою розробки нових безглютенових рецептур. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 5. С. 38–44.

6. Горач О.О. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного: монографія / Тіхосова Г.А., Чурсіна Л.А. Янюк Т. І. Херсон : Олді-плюс, 2011. С. 356.

7. Горач О.О. Домбровська О.П., Чурсіна Л.А. Інноваційні напрями використання насіння льону олійного та екологічна безпека харчової продукції Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в ХХІ столітті» під ред. Аверчева О.В. Колективна монографія. Херсон: Ліга-Прес, 2021. Том 2. С. 593–619.

8. Горач О.О., Домбровська О.П. Споживчі властивості олії одержаної з насіння льону олійного Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів, 17–18 листопада 2021 р. – Хмельницький : ХНУ, 2021. С. 171–176.

9. Мартинюк В. І. Удосконалення способу виробництва хліба на основі пшеничного цільнозернового борошна з використанням гарбузового насіння та пюре батату: дис. Київ, 2021. 123 с.

10. Жогло Ф.А., Попович В.П., Шурина Р.М. Вітамінновмісні лікарські рослини. Довідник. Львів: Світ, 1992. С. 64–65, 78–79, 98–99.

11. Гродзінський А.М. Лікарські рослини. Енциклопедичний довідник / за ред. А.М. Гродзінського. Київ. Головна редакція української радянської енциклопедії імені М.П. Бажана, 1991. С. 225–226, 289–290, 383–384.

REFERENCES:

1. Rentabelnist blyzko nulja, ale ukrainsi budut iz khlibom. Yak pratsiuie khlibopekarska haluz v umovakh viiny. URL: <https://agroportal.ua/publishing/intervyu/rentabelnist-blizko-nulya-ale-ukrajinci-budut-iz-hlibom-yak-pracyuye-hlibopekarska-galuz-v-umovah-viyni>

2. Gorach O. (2022) Conceptual basis of the formulation of gluten-free products based on the use of domestic plant raw materials / Monografia. Moderní aspekty vědy: XXV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. p. 373–388. [in Czech Republic].

3. Gorach O.O. (2022) Obgruntuвання innovatsiinykh tekhnolohii funktsionalnykh retseptur. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky / Khersonskiy derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet. Kherson : Vydavnychiy dim "Helvetyka", Vyp. 6. P. 52–58. [in Ukrainian].

4. Oleynikova S.O., Gorach O.O. (2023) Rozvytok innovatsiinykh tekhnolohii stvorennia produktiv kharchuvannia novoho pokolinnia. Tavriiskyi naukovyi visnyk.

Seriia: Tekhnichni nauky / Khersonskiy derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet. Kherson : Vydavnychiy dim "Helvetyka", Vyp. 2. s. 164–169. [in Ukrainian].

5. Kipioro I.M., Husar A.O., Gorach O.O. (2023) Vykorystannia alternatyvnykh vydiv syrovyny z metoiu rozrobky novykh bezghliutenovykh retseptur. Tavriiskiy naukoviy visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky / Khersonskiy derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet. Kherson : Vydavnychiy dim "Helvetyka". Vyp. 5. P. 38–44. [in Ukrainian].

6. Gorach O.O. (2011) Naukovi osnovy kompleksnoi pererobky stebel ta nasinnia lonu oliinoho: monohrafiia / Tikhosova H.A., Chursina L.A., Yaniuk T.I. Kherson : Oldi-plus. P. 356. [in Ukrainian].

7. Gorach O.O. Dombrovska O.P., Chursina L.A. (2011) Innovatsiini napriamy vykorystannia nasinnia lonu oliinoho ta ekolohichna bezpeka kharchovoi produktsii Formuvannia novoi paradyhmy rozvytku ahropromyslovoho sektoru v XKhI stolitti" pid red. Avercheva O.V. Kolektyvna monohrafiia. Kherson: Liha-Pres. Tom 2. S. 593–619. [in Ukrainian].

8. Gorach O.O., Dombrovska O.P. (2021) Spozhyvchi vlastyvoli olii oderzhanoi z nasinnia lonu oliinoho Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoi, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti: zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv, 17–18 lystopada 2021 r. Khmelnytskyi : KhNU. P. 171–176. [in Ukrainian].

9. Martyniuk V. I. (2021) Udoshkonalennia sposobu vyrobnytstva khliba na osnovi pshenychnoho tsilnozernovoho boroshna z vykorystanniam harbuzovoho nasinnia ta piure batatu: dys. Kyiv. 123 p. [in Ukrainian].

10. Zhohlo F.A., Popovych V.P., Shurn R.M. (1992) Vitaminovmisni likarski roslyny. Dovidnyk. Lviv: Svit. S. 64–65, 78–79, 98–99. [in Ukrainian].

11. Hrodzinskyi A.M. (1991) Likarski roslyny. Entsyklopedychnyi dovidnyk / za red. A.M. Hrodzinskoho. Kyiv. Holovna redaktsiia ukrainskoi radianskoi entsyklopedii imeni M.P. Bazhana, P. 225–226, 289–290, 383–384. [in Ukrainian].

УДК 637.07:637.072
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.12>

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ТРИВАЛІСТЬ ЗБЕРІГАННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ

Левченко М. В. – кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри технологій виробництва та переробки сільськогосподарської
продукції імені академіка В. Г. Пелиха
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-7774-8955

У статті наведено визначення впливу температури охолодження на якісні характеристики м'яса різних видів сільськогосподарської сировини.

Від способу та умов зберігання залежать не лише якісна характеристика м'ясної сировини, а й економічні показники процесу виробництва. На практиці, найчастіше застосовують два типи: охолодження або заморожування однофазним методом (коли м'ясо в парному стані заморожують безпосередньо після первинної обробки), чи двофазним методом (коли м'ясо заморожують після попереднього охолодження).

Визначені органолептичні показники, які чітко характеризують якість холодової обробки м'ясної сировини за різних технологічних параметрів. Встановлено, що яловичина, свинина, курятина, м'ясо нутрії, кроля та шпик зберігають ознаки свіжості максимум до 4 днів (при температурі 0...+4 °C і відносній вологості повітря 70...75%). Субпродукти за таких умов краще зберігають свої органолептичні властивості терміном до 2-х днів.

Органолептичне оцінювання м'ясної сировини дозволяє класифікувати її за критеріями свіжості. Починаючи з 4 дня зберігання зразків відмічається погіршення зовнішнього вигляду, щільності та запаху. М'язові волокна стають менш пружними та щільними при розрізі, після надавлювання поверхня вирівнюється повільніше (до 1,5 хв.). Змінюється колір: від рожевого до темно-червоного (у яловичини та свинини), від темно червоного до коричневого (у субпродуктів), у жировій сировини помічається поява сіруватого відтінку, від блідо-рожевого до блідо сірого (м'ясо курятини, нутрії, кролика). При виварюванні бульйону відмічається мутна консистенція, різкий запах, на поверхні з'являються піна та пластівці.

Результати дослідження показують, що м'ясні продукти заморожені при температурі -15...-16 °C, відносній вологості повітря 80...85%, через 6 місяців зберігання за основними показниками відповідали свіжому.

Під час заморожування спочатку настає переохолодження рідини в товщі м'язових волокон, де утворюються кристали льоду. Далі ці кристали розростаються, а при розморожуванні м'яса порушують загальну цілісність клітинної структури, відтак консистенція стає не такою пружною.

Ключові слова: м'ясо, охолодження, заморожування, зберігання.

Levchenko M. V. The influence of the cooling temperature mode on the storage duration of meat

The effect of cooling temperature on the quality characteristics of meat of different types of agricultural raw materials was determined.

Not only the qualitative characteristics of meat raw materials, but also the economic indicators of the production process depend on the method and conditions of storage. In practice, two types are most often used: cooling or freezing by a single-phase method (when the meat is frozen in a steam state immediately after primary processing), or by a two-phase method (when the meat is frozen after preliminary cooling).

Organoleptic indicators that clearly characterize the quality of cold processing of meat raw materials according to various technological parameters have been determined. It has been established that beef, pork, chicken, nutria meat, rabbit and lard retain signs of freshness for no more than 4 days (at a temperature of 0...+4 °C and a relative humidity of 70...75). Under such conditions, by-products better retain their organoleptic properties for up to 2 days.

Organoleptic evaluation of raw meat allows classifying it according to the criteria of freshness. Starting from the 4th day of storage of the samples, deterioration of the appearance, density and smell is noted. Muscle fibers become less elastic and dense when cut, after pressing the surface is leveled more slowly (up to 1.5 min.).

The color changes: from pink to dark red (in beef and pork), from dark red to brown (in offal), the appearance of a cheesy shade is noticed in fatty raw materials, from pale pink to pale gray (chicken meat, nutria, rabbit).). When the broth is boiled, a cloudy consistency, a sharp smell, foam and flakes appear on the surface.

The results of the research show that meat products frozen at a temperature of -15...-16 °C, relative air humidity of 80...85%, after 6 months of storage corresponded to fresh meat products according to the main indicators.

During freezing, supercooling of the liquid first occurs in the layer of muscle fibers, where ice crystals are formed. Further, these crystals grow, and when the meat is defrosted, they break the overall integrity of the cellular structure, so the consistency becomes less elastic.

Key words: meat, cooling, freezing, storage.

Вступ. М'ясні продукти є традиційним джерелом тваринного білка для населення, кількість споживання якого постійно зростає в світі. Свіже м'ясо на рівні з користю несе і загрозу здоров'ю та життю людини, оскільки легко підлягає бактеріальному чи грибковому забрудненню, що викликає харчові розлади. З огляду на це, виникає необхідність в сповільненні процесів псування м'ясної сировини з метою забезпечення більшої тривалості зберігання. Такі процеси, як охолодження, заморожування, обробка сіллю, нітритами, фосфатами, молочною кислотою, високими температурами дозволяють пригнітити ріст і розвиток бактерій, грибків, мікрофлори у м'ясі.

Для сповільнення процесів псування м'ясної сировини у виробничих умовах застосовують різні методи обробки: фізичні, хімічні, мікробіологічні. Ці процеси мають різний ступінь впливу на якісні характеристики м'яса. Тому дослідження методів тривалого зберігання м'ясної сировини не втрачає своєї актуальності [1, с. 8].

Огляд літературних джерел. В Україні, де характерний континентальний клімат, проблема тривалого зберігання м'ясної сировини та продуктів тваринного походження вимагає від виробників забезпечення холодильного обладнання з різними температурними режимами.

Вчені шукають перспективні шляхи збільшення тривалості терміну зберігання свіжого м'яса, який дозволяє контролювати розвиток патогенної мікрофлори [2, с. 71]. Дослідження спрямовані на вивчення процесів взаємодії мікроорганізмів під час переробки та зберігання м'ясної сировини. Встановлено, що охолодження м'яса призупиняє ріст та розвиток мікроорганізмів, знижує втрати продуктів та є безпечним для споживача.

Різке зниження температури охолодження сповільнює розвиток мікроорганізмів, активність ферментів, біохімічні процеси, структурні та хімічні зміни в м'ясі [3, с. 180; 4, с. 124].

Зберігання м'ясних продуктів ґрунтується на зберіганні його при низьких температурах, що унеможливорює зростання мікроорганізмів та сповільнює псування продукту [5, с. 324].

Виклад основного матеріалу. Від способу та умов зберігання залежать не лише якісна характеристика м'ясної сировини, а й економічні показники процесу виробництва. Існує декілька видів подовженого терміну зберігання м'яса: охолодження, заморожування, обробка високими температурами, антисептичними речовинами, ультрафіолетове чи радіоактивне опромінення, НВЧ-нагрівання, сублімаційне сушіння, соління, застосування біологічно активних речовин, ферментів або

метаболітичних речовин, тощо. На практиці, найчастіше застосовують два типи: охолодження або заморожування однофазним методом (коли м'ясо в парному стані заморожують безпосередньо після первинної обробки), чи двофазним методом (коли м'ясо заморожують після попереднього охолодження) [1, с. 88].

Охолоджене м'ясо за якісними показниками вважається кращим, ніж заморожене. Серед недоліків охолодження, можна відмітити високу швидкість псування та розкладання охолодженого м'яса за біохімічними процесами. Так, під час тривалого зберігання свіжого м'яса за температури від 0...+5 °С з часом виникають небажані біохімічні та гідролітичні процеси, які стають причиною погіршення його якості.

Метою роботи є визначення впливу температури охолодження на якісні характеристики різних видів м'ясної сировини. Зокрема, для дослідження були відібрані наступні зразки: м'ясо яловичини I категорії, субпродукти яловичі (серце та печінка), свинина (лопаткова частина), шпик свинячий, куряче філе, м'ясо нутрії та м'ясо кролика. Відібрані проби досліджували безпосередньо після відбору та закладали на зберігання до холодильної камери за наступних температурних режимів:

- 1) температура охолодження 0...+4 °С, відносна вологість повітря 70...75%;
- 2) температура заморожування -15...-16 °С, відносна вологість повітря 80...85%.

Оцінку м'ясної сировини, яка зберігалася при температурі 0...+4 °С та відносній вологості повітря 70...75% проводили кожного дня до моменту настання якісних показників, характерних для зіпсованого продукту. Зразки м'ясної сировини, які піддавалися заморожуванню, оцінювали 2 рази протягом 6 місяців.

Оцінку проводили за органолептичними показниками: зовнішній вигляд, консистенція, запах, колір, структура м'язових волокон в розрізі, прозорість, смак і аромат бульйону після варіння. Визначення зовнішнього вигляду проводять ретельним оглядом стану м'ясної сировини, жиру чи субпродуктів, їх кольору, виду, наявності підсихання. Липкість визначають через пальпацію, а вологість – шляхом прикладання до свіжого розрізу м'яса шматочка фільтрувального паперу.

Консистенція м'яса визначається при надавлюванні на його поверхню пальцем, після чого спостерігають за швидкістю зникнення ямки, що утворилася. Запах визначається спочатку на поверхні шматка м'яса, а далі – на свіжому розрізі. Характеристику стану жирової сировини проводять за зовнішнім виглядом, консистенцією, кольором, запахом. Для визначення якості бульйону спочатку відбирають однорідну пробу кожного зразка (25 г м'яса, пропущеного через м'ясорубку). Фарш поміщають в ємкість, додають 60 мл дистильованої води, перемішують та готують на кип'яченій водянній бані при температурі 80...85 °С.

Аналіз показав, що свіжа м'ясна продукція (яловичина, свинина та куряче філе) мала чисту, гладку, не завітрену поверхню (табл. 1).

На м'ясі кролика та нутрії відмічалася незначна кірочка підсихання. Шпик свинячий мав щільну консистенцію, білий колір (з легким кремовим відтінком), в розрізі – злегка вологий, після натискання поверхні швидко відновлював рівномірність форми. Субпродукти (нирки, серце, печінка) мали характерний для кожного органу колір (червоний, темно-коричневий, червоно-коричневий), рівномірну, гладку поверхню, щільну консистенцію, без утворень, запах невиражений. Бульйон з кожної відібраної проби був прозорим, насиченим, з легким характерним ароматом.

Таблиця 1

Характеристика зразків свіжої м'ясної сировини

Характеристика	Вид м'ясної сировини						
	М'ясо яловичини	Субпродукти Яловичі	Свинина	Куряче філе	Шпик свинячий	М'ясо нутрії	М'ясо кролика
Зовнішній вигляд	Чиста, гладка, блискуча поверхня				Чиста поверхня з незначною кірочкою підсихання		
Колір	Темно-рожевий	Червоний та червоно-коричневий	Рожевий	Блідо-рожевий	Білий	Блідо-рожевий	
Консистенція	Щільна, після надавлювання пальцем ямка зникає швидко						
Вид в розрізі	Помірно вологі, на фільтрувальному папері не залишають вологих плям						
Запах	Без стороннього запаху						
Прозорість та аромат бульйону	Бульйон прозорий, ароматний						

Для встановлення змін органолептичних показників м'ясної сировини частину відібраних зразків відправили на зберігання до холодильника при температурі охолодження 0...+4 °С і відносній вологості повітря 70...75%. Тривалість зберігання за таких умов становила 6 діб, при цьому проби досліджували на 2, 4 та 6 день за основними показниками свіжості.

Органолептичне оцінювання м'ясної сировини дозволяє класифікувати її за критеріями свіжості. Починаючи з 4 дня зберігання зразків відмічається погіршення зовнішнього вигляду, щільності та запаху. М'язові волокна стають менш пружними та щільним при розрізі, після надавлювання поверхня вирівнюється повільніше (до 1,5 хв.). Змінюється колір: від рожевого до темно-червоного (у яловичини та свинини), від темно червоного до коричневого (у субпродуктів), у жирової сировини помічається поява сіруватого відтінку, від блідо-рожевого до блідо сірого (м'ясо курятини, нутрії, кролика). При виварюванні бульйону відмічається мутна консистенція, різкий запах, на поверхні з'являються піна та пластівці.

Найбільш сумнівна свіжість була виявлена в усіх відібраних зразках вже починаючи з 6 дня зберігання. Поверхня м'ясних продуктів та шпику стала липкою, при натисканні пальцем майже не вирівнювалася. При розрізі м'язи були липкими, мали легкий гнилісний запах. Бульйон був мутний, пінистий, зі значною кількістю пластівців різного діаметру та неприємним запахом. Після прикладання фільтрувального паперу залишалися великі плями темно-коричневого кольору (табл. 2).

На 6 день зберігання субпродуктів за відповідних умов змінюється їх колір, запах та консистенція. Їх поверхня стає тьмяною, злегка липкою, менш пружною. З кожним послідуєчим днем змінювався колір, з'являвся сіруватий відтінок, специфічний запах, не притаманний свіжому продукту.

Таблиця 2

**Зміна органолептичних показників м'ясної сировини під час зберігання
(0...+4 °С, 70–75%)**

Характеристика	Вид сировини					
	М'ясо яловичини	Субпродукти яловичі	Свинина	Куряче філе	Шпик свинячий	М'ясо нутрії
На 2 день						
Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Колір та запах характерні для кожного виду, консистенція щільна, при натисканні поверхня швидко вирівнюється,					
Вид в розрізі	Злегка вологі, не залишають вологих плям на фільтрувальному папері					
Прозорість та аромат бульйону	Прозорий, ароматний, з легким приємним запахом					
На 4 день						
Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Поверхня завітрена, темно червоного кольору	Не блискуча поверхня, липка, кислий запах	М'язові волокна менш пружні та щільні, після натискання поверхня вирівнюється повільніше			
Вид в розрізі	Підвищена вологість, на фільтрувальному папері залишалися плями темно-червоного або коричневого кольору			М'який	Вологі, на фільтрувальному папері залишають темно-червону пляму	
Прозорість та аромат бульйону	Менш прозорий, на поверхні з'являються пластівці різного розміру					
На 6 день						
Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Поверхня темна, без блиску, липка, після натискання не вирівнюється		Бліде, з липкою поверхнею	Блідо-сірий, з прогірклим запахом	Сіруватого відтінку, липке, з гнилісним запахом	
Вид в розрізі	Вологі, на поверхні залишаються крупні плями коричневого або темно-коричневого кольору			М'який, залишає жирні плями	Вологі, залишаються плями темно-коричневого кольору	
Прозорість та аромат бульйону	Не прозорий, мутний, має різкий неприємний запах					

Відповідно до наведеного аналізу, можна зробити висновок, що яловичина, свинина, курятина, м'ясо нутрії чи кроля та шпик зберігають ознаки свіжості максимально до 4 днів (при температурі 0...+4 °С і відносній вологості повітря 70...75%). Субпродукти за таких умов краще зберігають свої органолептичні властивості терміном до 2-х днів.

Для визначення змін органолептичних показників м'ясу сировину (яловичина, свинина, курятина, м'ясо нутрії та кролика), свинячий шпик та субпродукти заклали на зберігання при температурі -15...-16 °С, відносній вологості повітря 80...85% в умовах холодильної камери. Дослідження проводили 2 рази протягом 6 місяців, попередньо зразки піддавали дефростації.

Дефростація – це розморожування замороженої м'ясної сировини до температури 0 °С в товщі м'язових волокон для приведення м'яса до стану охолодженого. Проведено органолептичне дослідження свіжості м'ясної сировини після її розморожування. Встановлено, що за основними показниками сировина відповідала вимогам, а суттєвих відмінностей між зразками свіжого та дефростованого м'яса не виявлено.

Під час заморожування спочатку настає переохолодження рідини в товщі м'язових волокон, де утворюються кристали льоду. Далі ці кристали розростаються, а при розморожуванні м'яса порушують загальну цілісність клітинної структури, відтак консистенція стає не такою пружною.

Таблиця 3

Зміна органолептичних показників замороженої м'ясної сировини під час зберігання (-15...-16 °С, 80...85%)

Характеристика	Вид сировини						
	М'ясо яловичини	Субпродукти яловичі	Свинина	Куряче філе	Шпик свинячий	М'ясо нутрії	М'ясо кролика
Через 3 місяці							
Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Від блідо рожевого до блідо-червоного з червоним відтінком, поверхня блискуча, волога, запах притаманний кожному виду м'ясної сировини, консистенція щільна, міцна, при натисканні поверхня вирівнювалася швидко						
Вид в розрізі	Злегка вологі, зразки на фільтрувальному папері не залишали вологої плями						
Прозорість та аромат бульйону	Прозорий, ароматний						
Через 6 місяців							
Зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція	Місцями надмірно зволожені, блідуватого кольору, дещо липка поверхня, консистенція менш щільна, поверхня вирівнюється не швидко, запах специфічний						
Вид в розрізі	Вологі, на фільтрувальному папері залишається волога пляма темного кольору						
Прозорість та аромат бульйону	Не прозорий, має характерний виражений запах м'яса, на поверхні з'являються пластівці						

Проте, результати органолептичного дослідження показують, що м'ясні продукти, дефростовані після заморожування, за основними показниками відповідали свіжому. Встановлено, що під час заморожування м'яса відбувається часткова денатурація білків (консистенція, колір, зовнішній вигляд) (табл. 3).

Встановлено, що охолодження та заморожування м'яса вважаються дешевими та перспективними методами консервування м'ясної сировини шляхом зміни температурних режимів. Заморожування м'ясної сировини характеризується незначним погіршенням якості та зменшенням маси продукту, адже після дефростації втрачається волога.

Отже, обробка м'ясної сировини за допомогою низьких температур (охолодження, заморожування) та зберігання м'ясних продуктів за відповідних режимів, є одним найбільш ефективних способів її збереження. Обробка холодом дозволяє виробникам якомога довше за мінімальних витрат зберегти початкові якісні характеристики продукції. Зберігання за допомогою холоду зумовлює пригнічення активності мікроорганізмів м'яса, сповільнює розвиток фізіологічних, біохімічних та біологічних процесів, які проходять в продукті під дією умов середовища (світло, тепло, кисень, тощо).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кухтин М.Д., Салата В.З. Мікробіологічні та біохімічні процеси у м'ясі яловичини за холодильного зберігання. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 305 с.
2. Новікова Н.В., Бурак В.Г. Дослідження впливу параметрів технології виробництва м'ясних охолоджених напівфабрикатів на безпечність продукції відповідно принципів HACCP. *Вісник ХНТУ. Технологія легкої і харчової промисловості*, 2019. № 2(69), 70–81.
3. Якубчак О. М., Тютюн А. І., Муковоз В. М., Карпуленко М. С. Мікробіологічні показники яловичини залежно від режимів і термінів заморожування. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*, 2016. 33 (2). 179–183.
4. Alexandre E., Brandao T. R. S., Silva C. L. M. *Frozen food and technology*. John Wiley and Sons, Ltd and Scrivener Publishing. USA, 2016. P. 150.
5. Салата В.З., Кухтин М.Д. Мікрофлора охолодженої і примороженої яловичини за холодильного зберігання. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: Збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії. «Ветеринарні науки»*, 2017. 34 (2), 332–336.

REFERENCES:

1. Kukhtyn M.D., Salata V.Z. (2023) *Mikrobiologhichni ta biokhimichni procesy u m'jasi jalovychyny za kholodylnogho zberighannja*. [Microbiological and biochemical processes in beef meat during cold storage]. Тернопіль. Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu. Pp. 305 (in Ukrainian).
2. Novikova N.V., Burak V.G. (2019) *Doslidzhennja vplyvu parametriv tekhnologhiji vyrobnyctva m'jasnykh okholodzhennykh napivfabrykativ na bezpechnistj produkciji vidpovidno pryncypiv NASSR*. [Research on the effects of the parameters of the technology of production of meat cooled semi-fabricates on product safety in accordance with HACCP principles]. *Visnyk of Kherson National Technical University*. vol. 2, no 69, Pp. 70–81.
3. Jakubchak O. M., Tjutjun A. I., Mukovoz V. M., Karpulenko M. S. (2016) *Mikrobiologhichni pokaznyky jalovychyny zalezno vid rezhymiv i terminiv zamorozhuvannja*. [Microbiological indicators of beef depending on modes and terms of freezing]. *Problems of zooengineering and veterinary medicine*, vol. 2, no 33, Pp. 179–183.

4. Alexandre E., Brandao T. R. S., Silva C. L. M. (2016) *Frozen food and technology*. USA. John Wiley and Sons, Ltd and Scrivener Publishing, Pp. 150. (in USA).
 5. Salata V.Z., Kukhtyn M.D. (2017) Mikroflora okholodzhenojii prymorozhenoj i jalovychyny za kholodylnogho zberighannja. [Microflora of chilled and frozen beef during cold storage]. *Problems of zooengineering and veterinary medicine: Collection of scientific works of the Kharkiv State Zooveterinary Academy. "Veterinary Sciences"*. Vol. 2. No 34, Pp. 332–336.
-

УДК 687.63

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.13>

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНОГО ХЛІБА

Новікова Н. В. – кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

Фещук Ю. А. – асистент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-0510-6325

Заверуха О. В. – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-6594-5828

Продукти, які ми звикли вживати в їжу, можуть приносити організму людини набагато більше користі, ніж можна собі уявити. У всьому світі набуває популярності функціональне харчування, принципи якого базуються на додаванні спеціальних функціональних продуктів до звичайного раціону.

Функціональну спрямованість харчових продуктів визначають такі умови: виготовлення з натуральних інгредієнтів; постійне вживання у складі щоденного раціону; наявність певної дії шляхом регулювання окремих процесів в організмі (наприклад, посилення механізмів біологічного захисту, профілактика конкретних захворювань, уповільнення процесу старіння)

Для виробництва м'ясних хлібів з поліпшеною біологічною цінністю основною сировиною виступає м'ясо телятини (в цілому без кісток та субпродуктів), м'ясо курятини (в цілому без кісток та субпродуктів), рис та рідкий яєчний меланж, а додатковою: молоко, кукурудзяний крохмаль, мінеральний премікс, спеції та у якості збагачувача – порошок моркви. При співвідношенні даних складників інгредієнтів ми отримуємо функціональний харчовий продукт зі збалансованим вмістом поживних речовин (Б:Ж:В – 1:1 – 0,8:0,82 – 3:3,19).

Для виробництва м'ясних хлібів з удосконаленою рецептурою використовують м'ясо телятини та курятину в цілому без кісток та субпродуктів.

М'ясна сировина має бути доброякісною, отриманою від забою здорових тварин і допущена ветеринарно-санітарним наглядом до використання, що приймається на підприємство у вигляді розділених напівтуш корів та курей.

При виробництві м'ясних хлібів з удосконаленою рецептурою, додатковою сировиною виступає: молоко, кукурудзяний крохмаль, мінеральний премікс, спеції та у якості збагачувача – порошок моркви.

У даному створеному продукті, під час виробництва використовують пастеризоване молоко екстра класу, що використовується під час варіння рису.

При споживанні 200 грамів готового продукту рівень забезпечення добової потреби складає: у білках – 35,97%, у жирах – 29,15%, вуглеводах – 28,63. А відсоток забезпечення добової потреби в ккал складає 14,17%. Також даний продукт має оптимальне співвідношення поживних речовин, що складає: білки – 1:1, жири – 0,8:0,82, а вуглеводи – 3:3,19.

Ключові слова: м'ясні хліби, функціональні продукти, удосконалена рецептура, біологічна цінність.

Novikova N. V., Feshchuk Yu. A., Zaverukha O. V. Optimization of meat bread production technology

Products that we are used to eating can bring much more benefit to the human body than you can imagine. Functional nutrition is gaining popularity all over the world, the principles of which are based on adding special functional products to the regular diet.

The functional orientation of food products is determined by the following conditions: production from natural ingredients; constant use as part of the daily diet; the presence of a specific action by regulating individual processes in the body (for example, strengthening biological defense mechanisms, prevention of specific diseases, slowing down the aging process

For the production of meat loaves with improved biological value, the main raw materials are veal meat (in general without bones and offal), chicken meat (in general without bones and offal), rice and liquid egg melange, and additional: milk, corn starch, mineral premix, spices and carrot powder as an enricher. With the given ratio of ingredients, we get a functional food product with a balanced content of nutrients (B:W:B – 1:1 – 0.8:0.82 – 3:3.19).

For the production of meat loaves with an improved recipe, veal meat and chicken are used as a whole without bones and offal.

Meat raw materials must be of good quality, obtained from the slaughter of healthy animals and approved by veterinary and sanitary supervision for use, which is accepted at the enterprise in the form of separated half-carasses of cows and chickens.

In the production of meat loaves with an improved recipe, additional raw materials are: milk, corn starch, mineral premix, spices, and carrot powder as an enricher.

In this created product, during production, pasteurized milk of extra class is used, which is used during cooking of rice.

When consuming 200 grams of the finished product, the level of ensuring the daily requirement is: in proteins – 35.97%, in fats – 29.15%, in carbohydrates – 28.63. And the percentage of providing the daily need in kcal is 14.17%. Also, this product has an optimal ratio of nutrients, which is: proteins – 1:1, fats – 0.8:0.82, and carbohydrates – 3:3.19.

Key words: meat loaves, functional products, improved formulation, biological value.

Вступ. Збереження здоров'я та збільшення тривалості повноцінного життя є пріоритетним завданням як у масштабах країни, так і для кожної людини. Харчування населення належить до найважливіших чинників, що визначають здоров'я нації, її потенціал та перспективи розвитку. Здорове харчування є запорукою активного довголіття, підвищення стійкості організму до несприятливих впливів довкілля [1].

Загалом м'ясна галузь покликана забезпечувати населення високоякісними продуктами харчування, адже саме у м'ясі містяться всі необхідні для цього складові: білки, жири, вітаміни й мінеральні речовини.

М'ясопереробна галузь залишається для України пріоритетною і стратегічною. Посилення процесів глобалізації та інтеграція України до світової спільноти висувають нові вимоги до розвитку м'ясопереробної галузі: відповідність міжнародним стандартам якості, екологічності та безпеки; перехід на інноваційну модель розвитку галузі та активне впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій виробництва на основі комплексного використання сировини тощо. Найбільшу питому вагу серед продукції м'ясопереробних підприємств займають ковбасні вироби, які сміливо можна віднести до числа найбільш розповсюджених і популярних продуктів харчування [3].

Постановка проблеми. На сьогоднішній день проблема раціонального харчування для людей похилого віку надзвичайно актуальна, оскільки кожен четвертий українець – пенсіонер за віком. Раціонально побудоване харчування для таких людей сприяє кращій роботі всіх важливих органів та систем, підвищує рівень захисної реакції організму на несприятливі фактори навколишнього середовища [4].

З віком спостерігаються зміни в обміні білка. Синтез білка в осіб віком 60 років і старших знижений на 40% порівняно з 30-річними; у віці старше 70 років – на 45%; старше 80 років – на 53%. Одночасно знижується і розпад білка, тобто спостерігається дисбаланс між синтезом та розпадом білків. Зниження маси функціонально активних органів з віком вимагає поступового знижування його рівня в їжі.

Як відомо люди літнього та похилого віку через складну економічну ситуацію в країні та низьку пенсію не мають змогу дозволити купувати собі якісні харчові

продукти, тим більше якісні м'ясні продукти. А змога збалансувати своє харчування практично не можлива, адже люди можуть лише в малій необхідності забезпечити себе їжою [5].

Задля вирішення цієї глобальної проблеми харчування пенсіонерів, ми пропонуємо створити новий збалансований харчовий продукт функціонального призначення, котрий зможе містити 10–50% добової норму білків, жирів вуглеводів, мінералів і вітамінів.

Кількість жиру з віком поступово зменшуємо і його вміст у харчуванні осіб похилого віку має становити 25–30% від загальної енергетичної цінності раціону. У загальній енергетичній цінності харчування вуглеводи мають складати 55–60%, або 250–300 г на добу [2].

Мета дослідження. Розроблення способу виробництва м'ясного хліба зі збалансованим вмістом поживних речовин та поліпшеною біологічною цінністю.

Аналіз останніх досліджень. Продукти, які ми звикли вживати в їжу, можуть приносити організму людини набагато більше користі, ніж можна собі уявити. У всьому світі набуває популярності функціональне харчування, принципи якого базуються на додаванні спеціальних функціональних продуктів до звичайного раціону.

Функціональну спрямованість харчових продуктів визначають такі умови: виготовлення з натуральних інгредієнтів; постійне вживання у складі щоденного раціону; наявність певної дії шляхом регулювання окремих процесів в організмі (наприклад, посилення механізмів біологічного захисту, профілактика конкретних захворювань, уповільнення процесу старіння та ін.).

До функціональних харчових продуктів можна віднести 4 групи продуктів: збагачені вітамінами, мікроелементами, харчовими волокнами та ін.; продукти, з яких вилучені певні речовини, не рекомендовані за медичними показаннями (амінокислоти, лактоза, сахароза та ін.); продукти, у яких вилучені речовини замінені на інші компоненти; продукти, отримані з нетрадиційної сировини, які визначаються певним біологічним впливом на окремі ланки метаболічних процесів в організмі людини [4].

В умовах переорієнтації сировинних ресурсів м'ясопереробної галузі в напрямку більш широкого використання м'яса птиці та подальшого зменшення поголів'я ВРХ і свиней більшість підприємств галузі розширили використання в рецептурах м'ясопродуктів, і в першу чергу варених ковбас, рослинних білоквіщуючих добавок, колагеновмісної сировини і стабілізаторів на основі комбінованих композиційних сумішей, що включають каміди, карагінани, модифіковані крохмалі, інші загущувачі та структуроутворювачі рослинного і мікробіологічного походження. Використання в складі м'ясопродуктів даних харчових добавок дозволяє досягати високих виходів ковбас (від 140 до 220% виходу по відношенню до м'ясної сировини) [8].

Однак при таких виходах поняття м'ясопродукт стає відносним, бо поживні повноцінні за біологічною цінністю речовини тваринного походження в таких рецептурах складають менше 20% (в деяких випадках м'ясна сировина повністю відсутня) і як наслідок, якість цих продуктів харчування, як би яскраво не виглядали рекламні проспекти мереж супермаркетів, визначається лише наближеністю за органолептичними показниками до класичного асортименту ковбасних виробів. Харчова цінність таких комбінованих продуктів на м'ясній основі буде в першу чергу визначатися якістю харчових добавок та білкових речовин (поліпшувачів), що входять до складу рецептурних компонентів м'ясопродуктів [7].

На ринку харчових добавок можна виділити добавки природного та штучного походження ступінь чистоти та комплексність технологічної спрямованості яких і визначає їх ціну. Більшість фірм на ринку харчових добавок, до останнього часу, представляли на продаж комплексні добавки іноземних країн. Вітчизняні виробники в данному сегменті ринку, на жаль, не мали вагомого голосу, що в першу чергу було пов'язано з не адекватним рівнем фінансових ресурсів іноземних представництв порівняно з власне українськими виробниками комбінованих харчових сумішей, а також низькою поінформованістю на м'ясопереробних підприємствах про стан вітчизняних наукових розробок в м'ясопереробній галузі.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для виробництва м'ясних хлібів з поліпшеною біологічною цінністю основною сировиною виступає м'ясо телятини (в цілому без кісток та субпродуктів), м'ясо курятини (в цілому без кісток та субпродуктів), рис та рідкий яєчний меланж, а додатково: молоко, кукурудзяний крохмаль, мінеральний премікс, спеції та у якості збагачувача – порошок моркви (табл. 1).

Таблиця 1

Рецептура виробу на 100 г

№ п.п.	Складники рецептури	Витрати, г
1	М'ясо яловичини	15
2	М'ясо курятини	13
3	Молоко пастеризоване	5
4	Кукурудзяний крохмаль	12
5	Рис	35
6	Спеції	0,1
7	Мінеральний премікс	0,1
8	Порошок моркви	8,0
9	Яєчний меланж	11,8
	Вихід, %	100

У таблиці 2 наведено відсотковий вміст компонентів рецептури: білків, жирів, вуглеводів, вміст мінеральних речовин і вітамінів.

Визначаємо співвідношення поживних речовин (білків, жирів і вуглеводів). (табл. 3).

Аналізуючи дані з таблиці 3 можна сказати, що при співвідношенні даних складників інгредієнтів ми отримуємо функціональний харчовий продукт зі збалансованим вмістом поживних речовин (Б:Ж:В – 1:1 – 0,8:0,82 – 3:3,19).

Далі за формулою інтегрального скору розраховуємо ступінь забезпечення добової потреби за рахунок кількісних значень показників харчової цінності для людей літнього та похилого віку за умови добової потреби в ккал – 2500-2600 ккал (табл. 4).

При споживанні 200 грамів готового продукту рівень забезпечення добової потреби складає: у білках – 35,97%, у жирах – 29,15%, вуглеводах – 28,63. А відсоток забезпечення добової потреби в ккал складає 14,17%.

Також даний продукт має оптимальне співвідношення поживних речовин, що складає: білки – 1:1, жири – 0,8:0,82, а вуглеводи – 3:3,19.

У табл. 5 представлено зміну пластичності показників модельних фаршевих систем до та після запікання.

Таблиця 2

Харчова цінність компонентів рецептурою

	Добова потреба	М'ясо яловичини	М'ясо курятини	Молоко пастеризоване	Кукурудзяний крохмаль	Рис	Спеції	Мінеральний премікс	Порошок моркви	Яєчний меланж
Білки, г	41,7	19,4	15,5	2,4	1	2,4	0	0	1,1	12,7
Жири, г	42	8,7	17,7	3,5	0,7	2	0	0	0	11,5
Вуглеводи, г	167	09	0,2	4,7	81,2	28	8	0,07	30,2	2,7
Na	5000	75	51	50	30	6	80	1500	0	134
K	3700	355	128	146	15	143	14	100	1310	140
Ca	1300	13	123	120	17	5	21	50	300	55
Mg	400	25	13	14	1	23	6	200	100	12
P	1200	213	154	90	20	124	193	3	0	192
Fe	15	3	1,7	0,07	0,47	3	3	0,05	2	2,5
F	1	0	0,3	0,3	0	0	3,5	0,2	2,1	0,04
B1	1,7	0,7	0,07	0,04	0	0,5	0,5	0,5	0	0,07
B2	1,7	0,2	0,13	0,15	0	0,13	0,5	0,5	0	0,44
B5	5	0,6	1,2	0,38	0	0,55	0,3	40	0	1,3
PP	14	5,8	3,3	0,1	0	5,40	2,1	3	0	0,2

Таблиця 3

Співвідношення поживних речовин

Показники	Білки	Жири	Вуглеводи
Норма	1,0	0,8	3,0
Розрахунок	1,0	0,85	3,20

Таблиця 4

Енергетична цінність продукту

Енергетична цінність	М'ясний хліб		Забезпечення добової потреби, %
	ккал	кДж	
На 100 г	177,1	1055,5	7
На 200 г	361,4	2111,2	14,17

Таблиця 5

Функціонально-технологічні властивості змодельованих м'ясних хлібів до запікання

Показники	pH	Вміст вологи, %	Вміст солі, %	Пластичність, г	ВЗЗ, %
Контроль	6,4	62,6	1,9	15,8	99,1
Дослідний зразок	6,5	59,16	1,9	16,4	99,05

В першому та другому варіанті досягаються високі показники ВЗЗ. Також в даних варіантах висока в'язкість, консистенція та загальний вигляд готового виробу (табл. 6).

Таблиця 6

Функціонально-технологічні властивості змодельованих м'ясних хлібів після запікання

Показники	pH	Вміст вологи, %	Вміст солі, %	Вміст нітриту натрію, %	Пластичність, г	Вихід, %	ВЗЗ, %
Контроль	6,5	64,7	1,9	<0,0007	17,2	104,8	89,2
Дослідний зразок	6,5	63,8	1,9	<0,0007	17,8	104,5	90,1

З даних табл. 5 і 6 можна зробити висновок, що дослідний зразок характеризується збільшенням пластичності.

Висновки і пропозиції

1. Для виробництва м'ясних хлібів з поліпшеною біологічною цінністю основною сировиною виступає м'ясо телятини (в цілому без кісток та субпродуктів), м'ясо курятини (в цілому без кісток та субпродуктів), рис та рідкий яєчний меланж, а додатковою: молоко, кукурудзяний крохмаль, мінеральний премікс, спеції та у якості збагачувача – порошок моркви.

2. При співвідношенні даних складників інгредієнтів ми отримуємо функціональний харчовий продукт зі збалансованим вмістом поживних речовин (Б:Ж:В – 1:1 – 0,8:0,82 – 3:3,19).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Божко Н.В., Тищенко В.І., Пасічний В.М. Оптимізація рецептури м'ясних хлібів з використанням гідробіонтів. *Науковий вісник Львівського Національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19, № 80. С. 38–42.
2. Григоров Ю.Г. Сучасний стан проблеми геродієтики в Україні. *Вісник АМН України*. 2005. № 3. С. 77–89.
3. Клименко М.М., Віннікова Л.Г.. *Технологія м'яса та м'ясних продуктів: підручник*. К.: Вища освіта, 2006. 630 с.
4. Корзун В.Н. Харчові раціони геродієтичного призначення з використанням дієтичних добавок рослинного походження. Харків: навч. посіб, 2013. 252 с.
5. Лялик А., Криськова Л., Кравчук Л. Концепція функціональних харчових продуктів. Тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції «Стан і перспективи харчової науки та промисловості». 2017. С. 114–115.
6. Молоканова Л.В., Оносова І. А. Використання бобових культур для розробки рецептури м'ясних січених напівфабрикатів. Зб. наук. Праць «Науковий вісник ПУЕТ». Серія технічні науки, Полтава: ВЦ ПУЕТ, 2011. № 1 (46). С. 133–138.
7. Тищенко В. І. Божко, Н.В., Пасічний В.М. Розробка рецептури полікомпонентних м'ясних хлібів на основі фаршу прісноводної риби. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23, № 2. С. 172–178.
8. Топчій О.А. Кишенько І.І., Котляр Є.О. Використання рослинних олій у рецептурах м'ясних паштетів. *Науковий вісник Львівського Національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2013. № 1(55). Т. 15. С. 169–173.

REFERENCES:

1. Bozhko N.V. & Tyshchenko V.I., Pasichny V.M. (2017) Optimizing the recipe of meat loaves using hydrobionts. *Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhitskyi*. Vol. 19, No. 80. P. 38–42.
2. Yu.G. Grigorov (2005) The current state of the problem of herodietics in Ukraine. *Bulletin of the Academy of Medical Sciences of Ukraine*. No. 3. P. 77–89.
3. Klymenko M.M. & Vinnikova L.G. (2006). *Technology of meat and meat products: textbook*. K.: Higher education, 630 p.
4. Korzun V.N. (2013) *Food rations of herodietic purpose with the use of dietary supplements of plant origin*. Kharkiv: Educ. manual. 252 p.
5. Lyalyk A. & Kryskova L., Kravchuk L. (2017) The concept of functional food products. Abstracts of reports of the IV International Scientific and Technical Conference «State and Prospects of Food Science and Industry». P. 114–115.
6. Molokanova L.V. & Onosova I.A. (2011) The use of leguminous crops for the development of a recipe for minced meat semi-finished products. *Coll. of science Works «Scientific Bulletin of PUET»*. Series of technical sciences, Poltava: VC PUET, No. 1(46). P. 133–138.
7. Tyshchenko V.I. & Bozhko, N.V., Pasichny V.M. (2017) Development of a recipe for multicomponent meat loaves based on minced fresh water fish. *Scientific works of the National University of Food Technologies*. Vol. 23, No. 2. P. 172–178.
8. Topchii O.A. & Kishenko I.I., Kotlyar E.O. (2013) The use of vegetable oils in the recipes of meat pastes. *Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhitskyi*. No. 1(55). T. 15. P. 169–173.

УДК 664.723.047

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.14>

ФАКТОРИ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Пазюк В. М. – доктор технічних наук, доцент,
провідний науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0002-4955-1941
Scopus Author ID: 57205217985

Дуб В. В. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2078-4426
Scopus Author ID: 57221327426

Сєдих К. В. – кандидат технічних наук,
викладач циклової комісії харчових технологій та готельно-ресторанної справи
Харківського торговельно-економічного коледжу
Київського національного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5720-8430

При сушінні зернових культур основним завданням є підвищення інтенсивності процесу із зниженням енергетичних витрат. Інтенсивність процесу сушіння обмежена якісними характеристиками матеріалу, тому необхідність застосування високотемпературного сушіння має обмеження.

Найбільш поширені технології із конвективним сушінням зерна в шахтних та колонкових зерносушарках з високою продуктивністю, також в них передбачено окремо рух теплоносія та зернового шару вздовж сушильної шахти, що має характер перехресного руху і збільшує інтенсивність. Швидкість руху теплоносія можна регулювати зміною обертання та потужністю вентилятора, а швидкість руху зернового шару частотою відкривання випускного шибєру внизу сушильної шахти. Разом з конвективним сушінням зерна в шахтних зерносушарках також реалізується кондуктивне сушіння в підігрітих коробах шахт сушарки, тобто в них реалізується конвективно-кондуктивне сушіння, що додатково інтенсифікує процес, але може привести до перегрівання матеріалу.

Інтенсифікація процесу сушіння може досягатися різними способами, але основною умовою при виборі та вдосконаленні процесу сушіння зерна є отримання максимального економічного ефекту, що в свою чергу пов'язано з низькими енергетичними витратами.

Енергоефективність процесу сушіння зерна оцінюється наведеними заходами із зниження витрат енергії на процес сушіння зерна. Вони поділені на три групи: заходи направлєні на зменшення витрат теплоти в шахтній зерносушарці, використання нетрадиційних джерел енергії та вдосконалення експлуатації та управління роботою зерносушарки.

За наведені формулами розраховані витрати теплоти в зерносушарці ДСП-320т, де втрати теплоти поділяються наступним чином: на випаровування вологи (53,2%), з відпрацьованим теплоносієм (23,9%), на нагрівання зерна та транспортних пристроїв (15%), від нагрітих поверхонь корпусу зерносушарки (6,9%) та від неповного згоряння палива (1%).

Проведений аналіз заходів з зменшення питомих витрат при роботі шахтних зерносушарок, що може значно покращити енергоефективність обладнання і були запропоновані заходи направлєні на вдосконалення, правильної експлуатації зерносушарки та управління процесом сушіння зерна.

Реалізація заходів з інтенсифікації та енергоефективності процесу сушіння значно зменшить тривалість процесу, а також дозволить створити ефективну економічну

сушильну установку із витратами теплоти значно менші за аналоги в межах 3000... 3800 кДж/кг вип. вологи.

Ключові слова: інтенсифікація, способи сушіння, енергоефективність, сушіння зерна, витрати теплоти, зменшення втрат теплоти, зерносушарки.

Paziuk V. M., Dub V. V., Siedykh K. V. Factors for increasing the intensity and energy efficiency of grain drying

When drying grain crops, the main task is to increase the intensity of the process with a decrease in energy costs. The intensity of the drying process is limited by the quality characteristics of the material, so the need to use high-temperature drying has limitations.

The most common technologies with convective drying of grain in shaft and column grain dryers with high productivity, they also provide for the separate movement of the heat carrier and the grain layer along the drying shaft, which has the character of cross movement and increases the intensity. The speed of movement of the heat carrier can be adjusted by changing the rotation and power of the fan, and the speed of movement of the grain layer by the frequency of opening the outlet shutter at the bottom of the drying shaft. Along with convective drying of grain in mine grain dryers, conductive drying is also implemented on the heated boxes of the dryer shafts, i.e., convective-conductive drying is implemented in them, which additionally intensifies the process, but can lead to overheating of the material.

Intensification of the drying process can be achieved in various ways, but the main condition for choosing and improving the grain drying process is obtaining the maximum economic effect, which in turn is associated with low energy costs.

The energy efficiency of the grain drying process is assessed by the following measures to reduce energy consumption for the grain drying process. They are divided into three groups: measures aimed at reducing heat consumption in the mine grain dryer, using non-traditional energy sources and improving the operation and management of the grain dryer.

According to the given formulas, heat consumption in the DSP-320t grain dryer is calculated, where heat losses are divided as follows: for moisture evaporation (53.2%), with spent coolant (23.9%), for heating grain and transport devices (15%), from the heated surfaces of the grain dryer housing (6.9%) and from incomplete fuel combustion (1%).

An analysis of measures to reduce specific costs during the operation of mine grain dryers, which can significantly improve the energy efficiency of the equipment, was carried out, and measures aimed at improving the correct operation of the grain dryer and managing the grain drying process were proposed.

Implementation of measures to intensify and energy efficiency of the drying process will significantly reduce the duration of the process, and will also allow creating an efficient economic drying plant with heat consumption significantly lower than analogues in the range of 3000–3800 kJ/kg vol. moisture

Key words: intensification, drying methods, energy efficiency, grain drying, heat consumption, reduction of heat loss, grain dryers.

Вступ. Постійне збільшення ціни пального, газу та електроенергії збільшують вартість висушеного зерна. В структурі попередньої обробки зерна на процес сушіння витрачається біля 70...80% енергії, що потрібно зменшувати. Зменшення втрат теплоти в процесі сушіння можливо при підвищенні інтенсивності та заходів направлених на вдосконалення технологій, використання теплоти відпрацьованого теплоносія, вдосконалення програм управлінням та контролю процесом сушіння, використання інших альтернативних джерел енергії та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі енергоефективності сучасних зерносушарок використовувались каталоги різних фірм виробників, зокрема польського (фірми "Araj", "Ag – Proget"), німецького (фірми "Riela", "Stela", "Agrex") та американського (фірми "Farm Fans", "Sukup MFG", "Mathews Company") [1–8]. А також шахтні зерносушарки вітчизняного виробництва Карлівського МЗ [9].

Метою дослідження є проведення аналізу факторів, що впливають на інтенсивність та енергоефективність при сушінні зернових культур та запропонувати заходи по вдосконаленню технології сушіння та розробки енергоефективної зерносушарки.

Виклад основного матеріалу. Інтенсифікацію процесу сушіння зерна можна проводити за наступними напрямками:

1. Підвищення інтенсивності сушіння через вдосконалення технології сушіння за різними напрямками в шахтних зерносушарках:

1.1. Попереднє інтенсивне підігрівання зерна високотемпературним теплоносієм з невисокою тривалістю нагріву на радіаторах (кондуктивних способ) та конвективний спосіб в падаючому, зваженому або киплячому шарі (зміна стану зернового шару).

1.2. Застосування ефективних інтенсивних режимів сушіння:

1.2.1. Ступеневі режими сушіння (прямоточна схема сушіння в прямоточній шахтній сушарці ДСП-16, ДСП-32 та ін.) перехід від високої до низької температури теплоносія при переході від зони нагрівання до зон сушіння.

1.2.2. Імпульсні режими сушіння передбачає нагрівання, відлежування та охолодження зерна (рециркуляційні шахтні зерносушарки РД-2х25-70, У2-УЗБ-50 та ін.).

1.2.3. Диференційні режими сушіння при яких гранично допустима температура нагрівання зерна і температура теплоносія залежить від початкової якості клейковини – міцної, доброї або слабкої. Сушіння пшениці зі слабкою клейковиною при підвищеній температурі приводить до зміцнення клейковини, а отже поліпшення якості.

1.3. Рециркуляція теплоносія може проводитися трьома способами:

1) від другої зони сушіння; 2) від зони охолодження; 3) змішана.

1.4. Рециркуляція зерна проводиться двома способами:

– часткова – для підігрівання нової порції зерна нагрітим зерном;

– повна – для зниження високої вологості матеріалу до кінцевої вологості за 2 проходу через сушарку (не можливість знімання вологи більше 6...8% за 1 прохід).

2. Заходи направлені на інтенсифікацію сушіння зерна, що реалізуються в різних типах зерносушарок.

2.1. Збільшення інтенсивності сушіння зерна можливо із дією вібраційних коливань пов'язано з активністю перемішування матеріалу. Розробка вібраційних технологій сушіння зерна обмежена низькочастотними коливаннями та розроблена різноманітність конструкцій, таких як лоткові, барабанні, спіральні та ін., які не набули широкого поширення і мають не високу продуктивність.

2.2. Збільшення інтенсивності сушіння зерна при електричному сушінні струмами високої та надвисокої частот відбувається швидке нагрівання матеріалу. Не знаходить широкого використання внаслідок великої втрати електричної енергії, яка становить 12600...18000 кДж/кг вип. вологи (для шахтних сушарок витрати теплоти 4800...6000 кДж/кг вип. вологи), а також складність устаткування і обслуговування установок з високою напругою.

2.3. Підвищення інтенсивності інфрачервоним випромінювання та сублімаційне сушіння в умовах глибоко вакууму не набуло широкого розповсюдження. Внаслідок високих енергетичних витрат на процес сушіння більше 12600 кДж/кг вип. вологи.

2.4. Зниження вологовмісту теплоносія, що реалізується встановленням теплових насосів в схемі підігріву теплоносія. Теплонасосні сушильні установки (повітря-повітря) гарно зберігають якість матеріалу, температура нагрівання теплоносія залежить від температури навколишнього середовища і не перевищує 60 °С. Двоконтурні або каскадні теплові насоси можуть підняти температуру до 80 °С, але ускладнюється обслуговування обладнання і вартість самої установки.

В тепло насосних сушильних установках витрати теплоти становлять 3800... 4600 кДж/кг вип. вологи.

3. Комбінація конвективного способу сушіння з іншими способами сушіння дозволить значно інтенсифікувати процес сушіння зерна, але в свою чергу збільшить додаткові витрати на процес.

Інтенсифікація процесу сушіння може досягатися різними способами, але основною умовою при виборі та вдосконаленні процесу сушіння зерна є отримання максимального економічного ефекту, що в свою чергу пов'язано з низькими енергетичними витратами.

Енергоефективність процесу сушіння зерна оцінюється наведеними заходами із зниження витрат енергії на процес сушіння зерна. Вони поділені на три групи: заходи направлені на зменшення витрат теплоти в зерносушарці, використання нетрадиційних джерел енергії та вдосконалення експлуатації та управління зерносушарок [10] (рис. 1).

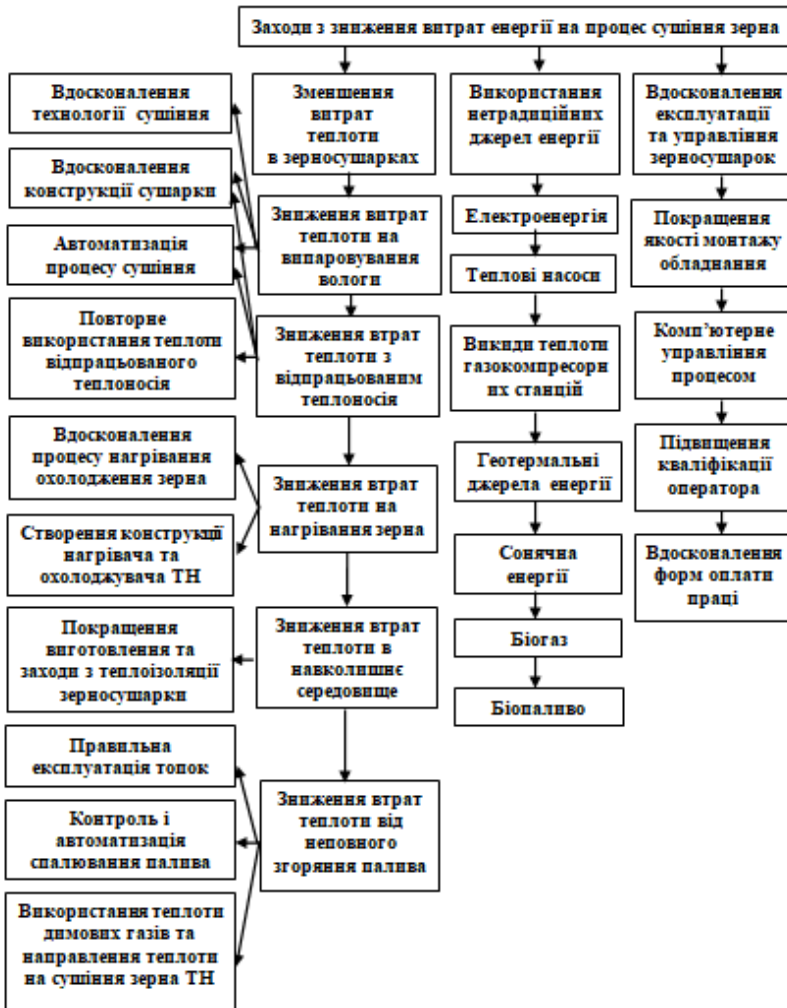


Рис. 1. Заходи з зниження витрат енергії на процес сушіння зерна

Зменшення втрат теплоти ΣQ (кДж/кг) в зерносушарках визначаємо за формулою (1) теплового балансу:

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1)$$

де Q_1 – втрати теплоти на випаровування вологи, кДж/кг;

Q_2 – втрати теплоти на нагрівання зерна, кДж/кг;

Q_3 – втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів, кДж/кг;

Q_4 – втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм, кДж/кг;

Q_5 – втрати теплоти від корпусу зерносушарки, кДж/кг;

Q_6 – втрати теплоти внаслідок неповного згоряння палива, кДж/кг.

Втрати теплоти на сушіння зерна у відсотках представлена у таблиці 1, найбільші втрати теплоти відбувається від випаровування вологи з матеріалу і складають 53,2%.

Таблиця 1

Втрати теплоти на сушіння зерна в зерносушарці ДСП-32от

№ п/п	Втрати теплоти	Формула	Втрати теплоти в зерносушарці ДСП-32от	
			кДж/кг	%
1	На випаровування вологи	$Q_1 = \omega(r + \Delta r)$	2782,5	53,2
2	На нагрівання зерна	$Q_2 = G_3 c_3 (\theta_3 - \theta_0)$	787,5	15,0
3	На нагрівання транспортних засобів	$Q_3 = G_T c_3 (\theta_2^I - \theta_2^{II})$		
4	З відпрацьованим теплоносієм	$Q_4 = L (H_2 - H_0)$	1265,3	23,9
5	Від нагрітих поверхонь корпусу зерносушарки	$Q_5 = \Sigma F k 3,6 (t_{cp} - t_0)$	362,2	6,9
6	Від неповного згоряння палива	$Q_6 = B Q_H^p (1 - \eta_T) - Q_{вт}$	52,5	1,0
7	Загальні втрати теплоти	$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$	5240	100

Розшифровка формул наведених в табл. 1:

r – теплота пароутворення води, кДж/кг;

Δr – теплота пароутворення, що витрачається на опір масопереносу при сушінні зерна;

G_3 – продуктивність сушарки, кг/год;

c_3, θ_3 – відповідно питома теплоємність (кДж/кг К) і температура зерна (°С) на виході після зерносушарки;

G_T – продуктивність транспортеру, кг/год;

$\theta_2^I, \theta_2^{II}$ – температура зерна відповідно до і після транспортування, °С;

L – витрата сушильного агенту, кг/год;

H_2, H_0 – ентальпія відпрацьованого сушильного агенту та зовнішнього повітря, кДж/кг;

ΣF – сума площ нагрітих поверхонь, через які відбуваються втрати теплоти в навколишнє середовище, м²;

k – коефіцієнт теплопередачі крізь стінки зерносушарки, Вт/(м² К);

t_{cp} – середня температура в зерносушарці, °С;
 t_0 – температура навколишнього середовища, °С;
 B – витрата палива, кг/год;
 Q_H^p – нижча теплота спалювання палива, кДж/кг;
 η_r – коефіцієнт корисної дії топки;
 $Q_{вт}$ – величина втрат теплоти в навколишнє середовище через підігріті поверхні топки, кДж/год.

Для підвищення енергоефективності процесу сушіння зернових культур, розроблено:

1. Заходи із зниження витрат теплоти в зерносушарці:

1.1. Заходи із зниження втрат теплоти на випаровування вологи:

1.1.1. Вдосконалення технології сушіння зерна:

- вибір і застосування оптимальних режимів сушіння;
- змішування зерна різної вологості і температури;
- короткочасне нагрівання зерна рециркуляційним зерном;
- подачу в зону сушіння попередньо нагрітого зерна;
- відлежування багатокомпонентної за вологістю та температури зерна;
- використання теплоносія з максимальними значеннями температури та швидкості;
- ефективне охолодження насіння до рівноважної вологості.

1.1.2. Вдосконалення конструкції зерносушарок:

- рівномірне розподілення теплоносія по перерізу шахти і по довжині коробів;
- безперервне завантаження та випуск висушеного зерна;
- застосування пристроїв для перемішування в щільному нерухомому шарі;
- впровадження теплонасосних технологій для зневоднення повітря та сушильного агенту.

1.1.3. Автоматизація процесу сушіння зерна: організація контролю температури, вологості, швидкості теплоносія та зерна для збереження якісних характеристик зерна.

1.2. Заходи із зниження втрат теплоти на нагрівання зерна:

1.2.1. Вдосконалення процесу на нагрівання та охолодження зерна:

- застосування проміжного нагрівання та охолодження зерна;
- охолодження до температури навколишнього середовища;
- охолодження зерна за допомогою теплонасосних установок.

1.2.2. Створення конструкції нагрівача та охолоджувача на основі теплового насосу:

- створення конструкції безперервної дії, що дозволить регулювати швидкість нагрівання та охолодження повітряного потоку в широкому діапазоні;
- зведення до мінімуму нерівномірності нагрівання та охолодження шарів зерна.

1.3. Заходи із зниження втрат теплоти з відпрацьованим теплоносієм:

1.3.1. Повторне використання теплоти відпрацьованого теплоносія:

- використання теплонасосного циклу для зниження вологи високотемпературного відпрацьованого теплоносія і направлення їх для попереднього нагрівання зерна;
- змішування частини відпрацьованого теплоносія і повітря з топковими газами;
- утилізація (рекуперація) теплоти відпрацьованого теплоносія.

1.3.2. Вдосконалення конструкцій зерносушарок:

- використання раціональної схеми підведення теплоносія до зерна;
- усунення нерівномірності нагрівання та сушіння зерна;
- застосування теплових насосів.

1.3.3. Автоматизація процесу підтримання оптимальної витрати теплоносія і повітря.

1.4. Заходи із зниження втрат теплоти в навколишнє середовище через нагріті поверхні, в тому числі на нагрів транспортних засобів:

- встановлення теплоізоляції зерносушарок та топкових пристроїв, вдосконалення їх конструкцій та найближче конструктивне розташування;
- правильна організація роботи та технічна експлуатація зерносушарок, зменшення простоїв обладнання.

1.5. Заходи зі зниження втрат теплоти від неповного згорання палива:

- автоматизація процесу спалювання палива;
- правильна експлуатація топков (особливо в періоди запуску і виходу на задані режими);
- використання теплоти димових газів топкових пристроїв та направлення теплоти на сушіння зерна в зерносушарку за допомогою теплових насосів.

Заходи направлені на зниження втрат на процес сушіння частково реалізується в сучасних зерносушарках, що відповідно знижує витрати теплоти на сушіння та підвищує коефіцієнт корисної дії зерносушарок до 77,5%.

2. Використання нетрадиційних джерел енергії

У зв'язку з подорожчанням традиційного виду палива (газу) виникла потреба у отриманні теплоти на сушіння зерна від нетрадиційних видів палива. Так отримання теплової енергії від альтернативних джерел енергії дозволяє істотно зменшити її вартість.

Останнім часом широко використовують в якості палива біогаз та біопаливо (дрова, відходи деревообробних та с/г виробництв). Використання електроенергії та теплових насосів обмежена із-за високої вартості устаткування та їх обслуговування. Витрати теплоти при сушінні електроенергії значні біля 15000 кДж/кг вип. вологи і стає ефективним, як джерело енергії для теплового насосу.

Використання теплоти газокompресорних станцій, геотермальних джерел енергії та сонячної енергії ефективно також при нагрівання теплоносія в теплому насосі або теплових трубах.

3. Вдосконалення експлуатації та управління зерносушарки

Вдосконалення експлуатації та управління зерносушарки залежить від покращення якості монтажу, комп'ютерного управління процесом, підвищення кваліфікації оператора, вдосконалення форм оплати праці – це безпосередньо впливає на якість роботи зерносушарки та якість отриманого зерна, надійності роботи і енергоефективності процесу сушіння зерна.

Висновки. Всі зазначені фактори з підвищення енергоефективності сушіння зерна реалізують програму створення енергоефективної зерносушарки з витратами теплоти 3000...3800 кДж/кг вип. вологи (при діючих витратах теплоти в шахтних зерносушарках 4800...6000 кДж/кг вип. вологи).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Каталог продукції фірми Araj (Польща). URL: <http://www.agroimpuls.com/index.php>. (дата звернення: 21.11.2023).

2. Каталог продукції фірми Ag – Project (Польща). URL: [http:// www.ag-projects.com/](http://www.ag-projects.com/). (дата звернення: 21.11.2023).
3. Каталог продукції фірми Riela (Німеччина). URL: [http:// www.ukrbiznes.com/websiteview.php?id=59951](http://www.ukrbiznes.com/websiteview.php?id=59951). (дата звернення: 21.11.2023).
4. Каталог продукції фірми Stela (Німеччина). URL: [http:// www.stela-drying-technology.de](http://www.stela-drying-technology.de) (дата звернення: 21.11.2023).
5. Каталог продукції фірми Agrex (Німеччина). URL: [http:// www.agrex.com](http://www.agrex.com). (дата звернення: 21.11.2023).
6. Каталог продукції фірми Farm Fans (США). URL: [http:// www.fficorp.com/english/farmfans.html](http://www.fficorp.com/english/farmfans.html). (дата звернення: 21.11.2023).
7. Каталог продукції фірми Sukup MFG., Co. (США). URL: [http:// www.sukup.com](http://www.sukup.com). (дата звернення: 21.11.2023).
8. Каталог продукції фірми Mathews Company (США). URL: [http:// www.mathewscompany.com](http://www.mathewscompany.com). (дата звернення: 21.11.2023).
9. Каталог продукції Карловський МЗ (Україна). URL: [http:// zbut@kmz.poltava.ua](http://zbut@kmz.poltava.ua). (дата звернення: 21.11.2023).
10. Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, В.І. Атаназевич. К.: Либідь, 1997. 352 с.

REFERENCES:

1. Catalog of products of Araj Retrieved from <http://www.agroimpuls.com/index.php>. [in Poland].
 2. Catalog of Ag-Project products. Retrieved from [http:// www.ag-projects.com](http://www.ag-projects.com) [in Poland].
 3. Riela product catalog. Retrieved from [http:// www.ukrbiznes.com/websiteview.php?id=59951](http://www.ukrbiznes.com/websiteview.php?id=59951). [in Germany].
 4. Stela product catalog. Retrieved from [http:// www.stela-drying-technology.de](http://www.stela-drying-technology.de) [in Germany].
 5. Product catalog of Agrex. Retrieved from [http:// www.agrex.com](http://www.agrex.com) [in Germany].
 6. Catalog of Farm Fans products. Retrieved from <http://www.fficorp.com/english/farmfans.html> [in USA].
 7. Product catalog of Sukup MFG., Co. Retrieved from <http://www.sukup.com> [in USA].
 8. Catalog of Mathews products Company. Retrieved from <http://www.mathewscompany.com> [in USA].
 9. Product catalog of the Karlovsky Machine-Building Plant. Retrieved from zbut@kmz.poltava.ua [in Ukrainian].
 10. Stankevich H. M. (1997) Sushinnya zerna [Grain drying] Kyiv: Lybid [in Ukrainian]
-

УДК 637.55:664.935
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.15>

ВПЛИВ КАВОВОГО МАРИНАДУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ ДИЧИНИ

Пешук Л. В. – доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри харчових технологій
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара
ORCID ID: 0000-0002-0967-8892

Приходько Д. Ю. – здобувач вищої освіти
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара
ORCID ID: 0009-0004-7193-8335

Штик І. І. – викладач спеціальних дисциплін
ВСП «Тульчинський фаховий коледж ветеринарної медицини
Білоцерківського національного аграрного університету»
ORCID ID: 0009-0008-7101-0261

Маринування є важливим способом підготовки м'ясних напівфабрикатів, що використовується для поліпшення смакових і текстурних властивостей продукту. Використання кави в якості основного компоненту маринаду є новим та актуальним рішенням. Кава є цінним напоєм через вміст у ній кофеїну та хлорогенових кислот, що проявляють антиоксидантну дію. Спектр біологічної дії антиоксидантів дуже різноманітний та зумовлений їх захисними функціями, вираженими у здатності активно взаємодіяти з вільними радикалами і киснем повітря, тим самим перешкоджаючи окисленню жирів та псування продукту. В даний час напівфабрикати посідають перше місце в загальній структурі виробництва і споживання м'ясних продуктів у більшості країн світу. Широкий асортимент продукції дозволяє раціонально використовувати сировину і задовольняти попит споживачів різної категорії. Виробництво шматкових напівфабрикатів з дорожчої сировини змушує виробників прагнути до максимального збільшення терміну зберігання і стабільності показників якості виробу. Маринування м'яса є актуальним шляхом вирішення цієї проблеми, оскільки воно допомагає зберегти продукт від передчасного псування та покращити його органолептичні характеристики. Впровадження м'яса диких тварин у технології виготовлення напівфабрикатів полягає в пошуку нових джерел харчування та розвитку стійкого промислового сектора. Ця тенденція виникає у зв'язку з різким зростанням попиту на м'ясні продукти, а також постійними змінами в харчових звичках населення. Використання м'яса дикого кабана у технології напівфабрикатів може бути вигідним з економічної та екологічної точок зору, проте вимагає належного контролю та регулювання якості і безпеки продуктів. У маринуванні м'яса диких тварин кава може застосовуватися як багатofункціональний компонент – нівелювати специфічний запах дичини, надаючи продукту пікантності та унікального смаку, карамельного кольору та ніжної текстури. Тому було вирішено розробити маринад для напівфабрикатів з м'яса дикого кабана на основі кави. Розроблені напівфабрикати з дичини маринували двома способами: маринування у кавовому маринаді та шприцювання. Досліджували вихід напівфабрикатів залежно від часу та способу маринування, показники кислотності, білкового вмісту та органолептичні характеристики розроблених зразків.

Ключові слова: кава, маринування, напівфабрикати, м'ясо дикого кабана, дослідні зразки.

Peshuk L. V., Prykhodko D. Yu., Shtyk I. I. The influence of coffee marinade on the optimization of quality indicators of semi-finished game meat

Marinating is an important way of preparing meat semi-finished products, which is used to improve the taste and textural properties of the product. The use of coffee as the main component of the marinade is a new and relevant solution. Coffee is a valuable drink due to the content

of caffeine and chlorogenic acids, which have an antioxidant effect. The spectrum of biological action of antioxidants is very diverse and is determined by their protective functions, expressed in the ability to actively interact with free radicals and oxygen in the air, thereby preventing the oxidation of fats and spoilage of the product. Currently, semi-finished products occupy the first place in the overall structure of production and consumption of meat products in most countries of the world. A wide range of products allows rational use of raw materials and satisfying the demand of consumers of various categories. The production of piece semi-finished products from more expensive raw materials forces manufacturers to strive for maximum increase in shelf life and stability of product quality indicators. Marinating meat is a relevant way to solve this problem, as it helps to preserve the product from premature spoilage and improve its organoleptic characteristics. The introduction of the meat of wild animals into the technology of manufacturing semi-finished products consists in the search for new sources of nutrition and the development of a sustainable industrial sector. This trend arises in connection with a sharp increase in the demand for meat products, as well as constant changes in the eating habits of the population. The use of wild boar meat in semi-finished product technologies can be beneficial from an economic and ecological point of view, but requires proper control and regulation of product quality and safety. In marinating wild animal meat, coffee can be used as a multifunctional component – to neutralize the specific smell of game, giving the product piquancy and a unique taste, caramel color and delicate texture. Therefore, it was decided to develop a coffee-based marinade for semi-finished products from wild boar meat. The developed game semi-finished products were marinated in two ways: marinating in coffee marinade and injection. The yield of semi-finished products depending on the time and method of pickling, acidity indicators, protein content and organoleptic characteristics of the developed samples were studied.

Key words: coffee, marinating, semi-finished products, wild boar meat, experimental samples.

Вступ. Під час переробки та зберігання м'ясних продуктів зазвичай використовуються різні підходи для підвищення їх якості та безпеки. Маринування є одним із традиційних і ефективних методів подовження терміну реалізації та покращення якості продуктів, що широко застосовується при виробництві м'ясних напівфабрикатів [1]. Важливою проблемою в області переробки м'ясної сировини є окисне псування ліпідів, а також ПНЖК, що входять до складу м'ясних продуктів. Основним типом окиснення жирів в м'ясних напівфабрикатах – є прогіркання, що зумовлено окисненням ненасичених жирних кислот киснем повітря [2]. Зберігання продуктів в умовах понижених температур не є вирішенням проблеми, оскільки це не зупиняє окисні реакції, а тільки зменшує швидкість їх протікання. Такі речовини, як природні антиоксиданти здатні повністю зупинити дію вільних радикалів [3], саме тому використання антиоксидантних компонентів в технології маринування м'ясних напівфабрикатів є актуальним питанням галузі.

Першими маринади почали використовувати древні римляни – це була звичайна морська вода, в якій вимочували продукт перед приготуванням [4]. В країнах де процвітало виноробство, замість солі використовували винний оцет, а в східній кулінарії – велику кількість прянощів і спецій [5].

Використання кави у маринуванні м'яса є сучасним рішенням. Серед природних речовин, що володіють антиокисними властивостями, потрібно відмітити кавову кислоту, що міститься в її зернах [6]. Кавовий напій є багатим джерелом біологічно активних сполук, особливо поліфенолів, таких як фенольні кислоти – в основному хлорогенова [7]. Фенольні сполуки виділені з рослин, відомі як екологічно чисті та відновлювані компоненти, що проявляють значну антиоксидантну та антибактеріальну дію. Багато досліджень повідомляють, що фенольні сполуки можуть ефективно уповільнювати окислення білка та ліпідів у м'ясі, а також зменшувати мікробіологічні ризики [8].

Постановка проблеми. На сьогодні, сировиною для маринування м'яса та птиці, що широко використовують і досліджують є плодово-овочева сировина,

органічні фруктові кислоти, дикорослі рослини, проте, аналізуючи літературні джерела, маринаду з кави знайдено не було.

Кава – напій, що виготовляють зі смажених бобових плодів. Серед великої кількості видів кавових дерев – промислового значення набули лише три: аравійська (*Coffea arabica*), ліберійська (*Coffea Liberica*) і робуста (*Coffea robusta*). Індустрія кавового бізнесу набула світових масштабів, а торгівля кавою в усьому світі продовжує стабільно розвиватися та рости. Найпоширенішою на світовому ринку є арабіка (64%); робуста (35%); ліберіка (1%) [9]. За даними Міжнародної організації кави (ICO) у 2021 році в світі було спожито більш ніж 9,98 тисяч тон кави, а середнє річне споживання кави населенням світу складає більше ніж 500 млрд порцій кавових напоїв на рік [10].

Кава містить понад тридцять різних органічних кислот, у тому числі хлорогенову, яблучну, лимонну, оцтову та кавову, кофеїн, тригонелін, таніни, білок та мінеральні речовини (табл. 1). Завдяки широкому хімічному складу, кавовий напій, при нормованому споживанні, позитивно впливає на організм людини – стимулює центральну нервову систему, проявляє тонізуючу та антиоксидантну дію [11]. Крім того, відходи при виробництві кавових напоїв, переважно кавовий шлам, використовують як органічне добриво, як для кімнатних рослин, так і при промисловому вирощуванні грибів і плодово-овочевих культур [12].

Таблиця 1

Хімічний склад зерен кави [13]

Концентрація компонентів, г/100 г	Арабіка	Робуста	Ліберіка
Кофеїн	1,61	2,26	1,23
Волога	8,0-12,0	8,0-12,0	11,0
Білок	9,8	9,5	14,0
Полісахариди	49,8	54,4	42,0
Сахароза	8,1	4,4	8,0
Ліпіди	16,2	10,0	12,0
Хлорогенова кислота	6,5	10,0	7,0
Мінеральні речовини	4,2	4,4	4,0

Впровадження м'яса диких тварин у технологію виготовлення напівфабрикатів сприятиме стійкому розвитку м'ясопереробної галузі, дасть нові можливості для розширення асортименту продукції та забезпечить сталий розвиток галузі АПК. М'ясо дикого кабана має високу харчову та біологічну цінність, високий вміст білка, що робить його ідеальним компонентом для виготовлення якісних напівфабрикатів. Порівняно зі свининою, вирощеною за індустріальними технологіями, дикі кабани вільно вибирають собі їжу, яка їм до вподоби, м'ясо характеризується більш темним забарвленням та специфічним смаком, що потребує впровадження нових технологічних рішень.

Мета дослідження. При маринуванні м'яса диких тварин кава може застосовуватися як багатофункціональний компонент – нівелювати специфічний запах дичини, надаючи продукту пікантності та унікального смаку, карамельного кольору та ніжної текстури. Тому було вирішено розробити маринад для напівфабрикатів з м'яса дикого кабана на основі кави, з метою покращення властивостей продукту та розширення асортименту м'ясних напівфабрикатів.

Виклад основного матеріалу. За фізико-хімічними показниками м'ясо дикого кабана нічим не поступають традиційним видам – свинині та яловичині, а навпаки по вмісту білка переважає свинину на 11,7% (табл. 2). Білки м'яса дикого кабана мають високу біологічну цінність та не містять лімітуючих амінокислот. М'ясо відрізняється високим вмістом лізину, лейцину та ізолейцину, має порівняно високий вміст триптофану – 1,37 г/100 г [14].

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники м'яса

Вид сировини	Масова частка, %				Енергетична цінність, ккал/кДж
	вологи	білку	жиру	золи	
М'ясо дикого кабана	69,4 ± 0,46	19,1 ± 0,27	9,2 ± 0,19	1,5 ± 0,05	162 / 664
Свинина	57,5 ± 0,52	17,1 ± 0,27	30,2 ± 0,21	1,1 ± 0,05	340 / 1376
Яловичина	71,2 ± 0,33	19,9 ± 0,24	10,3 ± 0,17	1,0 ± 0,05	156 / 640

За функціонально-технологічними показниками м'ясо дикого кабана має нижчу кислотність у порівнянні з традиційною свининою та яловичиною, проте показники вологов'язуючої здатності дещо вищі (табл. 3).

Таблиця 3

Функціонально-технологічні показники м'яса

Вид сировини	pH	ВЗЗ _{до з.вол.} , %	ВЗЗ _{до м'яса.} , %	Пластичність, см ² /г
М'ясо дикого кабана	5,75	82,9	65,3	8,8
Свинина	5,9	82,5	62,8	8,3
Яловичина	6,6	83,4	64,1	8,6

Перш за все нами було проведено підбір компонентів маринаду для максимального покращення властивостей продукту. Для маринування було обрано каву, тому що саме її характеристики найбільш вдало допомагають підкреслити та покращити властивості напівфабрикату із дичини. При розробці маринаду для напівфабрикату з м'яса дикого кабана за контроль було взято класичну технологію маринування відповідно до рецептури «Шашлык екстра» ГОСТ Р 52675-2006 «Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия», згідно якого маринад складається з цибулі (12%), оцту 9% (6,5%), води (5%), солі (1,4%) та перцю чорного молотого (0,1%). Маринад на основі кави було розроблено у наступному співвідношенні компонентів, зазначених на рисунку 1.

Для утримання вологи в м'ясі в якості харчової добавки до маринаду було взято триполіфосфат натрію, дифосфат натрію, алюмінат і карагінан. При порівнянні маринадів з триполіфосфатом натрію, дифосфатом натрію та алюмінатом, зразок з карагінаном не вплинув на кислотність контрольного маринаду, крім того замариноване у ньому м'ясо мало найкращий вихід напівфабрикату.

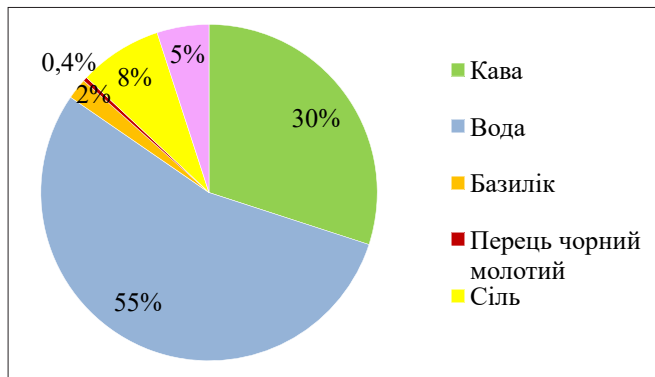


Рис. 1. Співвідношення рецептурних компоненти розробленого маринаду

Каррагінан використовують для формування консистенції овочевих і фруктових консервів, плавлених сирів, сирих виробів, м'ясних консервів, вершків, морозива, соусів, у дозуванні 5...10 г/кг продукту, він здатний утворювати прозорі гелі загущуючи будь-які харчові продукти [15].

Маринування м'яса проводили у співвідношенні 1 : 1 м'ясо з маринадом, при температурі 0...4 °С, у контрольному зразку (класичний маринад), розробленому кавовому з каррагінаном та без. Вихід напівфабрикату визначали відповідно до часу маринування (0...72 год). Маринад готували із заздалегідь підготовленої сировини: кави та спецій. За отриманими даними (рис. 2) видно, що найбільший вихід напівфабрикату спостерігається саме без додавання каррагінану до маринаду, крива пропорційно зростає, немає різких перепадів.

Наступним етапом були проведені дослідження як впливає на вихід напівфабрикату способів маринування м'яса. Порівняння проводили між зразком, що маринували за контрольною рецептурою; м'ясом, що витримувалося в кавовому маринаді; напівфабрикатом, шприцьованим кавовим розчином. Отримані дані (рис. 3) свідчать, що найкращим способом є шприцьовання кавовим розчином, оскільки вихід даного напівфабрикату є найвищим.

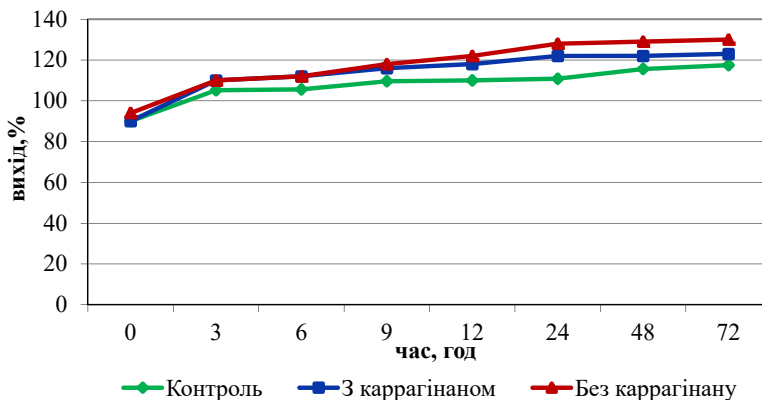


Рис. 2. Вихід напівфабрикату в залежності від часу маринування

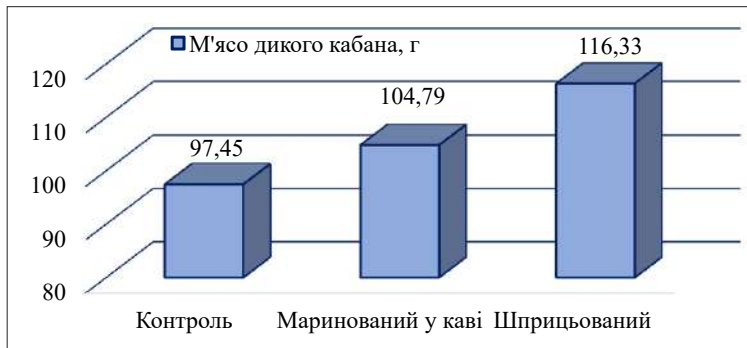


Рис. 3. Порівняння виходу напівфабрикату при різних способах маринування

Наступним етапом нами було проведено визначення кислотності м'яса дикого кабана, маринадів і напівфабрикатів з каррагінаном і без. Визначення рН проводили в залежності від часу маринування напівфабрикату, тобто від початку до трьох діб. Під час маринування середнє значення рН напівфабрикатів становило 6,35 і не залежало від часу маринування (рис. 4).

Вміст білка визначали в маринованому та шприцьованому напівфабрикаті окремо за кількістю міофібрилярних та саркоплазматичних білків (табл. 4). Вміст міофібрилярного білка у маринованих напівфабрикатах з м'яса дикого кабана становив у середньому – 26,35% до загального азоту, вміст саркоплазматичного білка – 16,05% до загального азоту.

За органолептичними показниками обидва зразки напівфабрикатів, які витримувались у кавовому маринаді, отримали вищі за контроль бали (рис. 5).

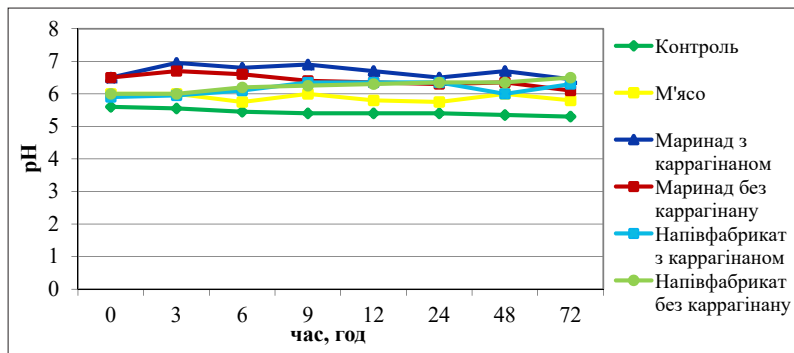


Рис. 4. Показники зміни рН дослідних маринадів та напівфабрикатів

Таблиця 4

Вміст міофібрилярних та саркоплазматичних білків у напівфабрикатах з м'яса дикого кабана

Продукт	Міофібрилярний білок, % до заг. азоту	Саркоплазматичний білок, % до заг. азоту
Напівфабрикат маринований	26,9±1,3	16,2±1,3
Напівфабрикат шприцьований	25,8±1,3	15,9±1,3

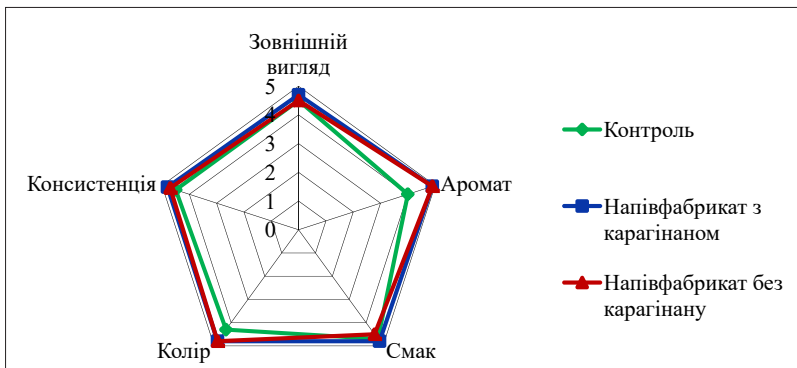


Рис. 5. Органолептична оцінка розроблених готових напівфабрикатів

Кава надає пікантного аромату та ніжного смаку при приготуванні, а також утворює скоринку, надаючи готовому напівфабрикату своєрідного темно-коричневого кольору. Перець та базилік вносять нотку пряності і гармонійно поєднуються з кавою для надання готовому напівфабрикату з м'яса дикого кабана нових характеристик.

Висновки. Використання кавового маринаду в технології напівфабрикатів з дикого кабана є актуальним напрямком розширення асортименту м'ясних виробів. Кава, як основний компонент маринаду, якісно впливає на смакові, ароматичні та текстурні властивості напівфабрикатів з дичини, крім того, із-за вмісту антиоксидантів, здатна проявляти антиоксидантну дію, уповільнюючи окиснення жирів та псування продукту. Результати проведених досліджень по виходу напівфабрикатів залежно від часу та способу маринування, показників кислотності, білкового вмісту та органолептичних характеристик, свідчать про якісні характеристики отриманих дослідних зразків. Напівфабрикати з дикого кабана за всіма показниками органолептичного оцінювання мали найвищі бали. Саме тому, використання нових інгредієнтів у технології маринування м'яса дає змогу задовольнити зростаючі вимоги споживачів, щодо смакових та якісних властивостей продукту. Впровадження кавового маринаду в технологію напівфабрикатів з дикого кабана може стати конкурентною перевагою для виробників, що прагнуть до розвитку та удосконалення продукції м'ясної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Qian-Da X., Zhi-Long Yu., Qiang H., Wei-Cai Z. Migration of phenolic compounds in meat during marinating process: Action rule, mass transfer and mechanism. *LWT*. 2023. V. 185. P. 115192.
2. Domínguez R., Pateiro M., Gagaoua M., Barba F.J., Zhang W., Lorenzo J.M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants (Basel)*. 2019. №8(10). P. 429.
3. Lobo V., Patil A., Phatak A., Chandra N. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn Rev*. 2010. № 4(8). P. 118–126.
4. Слащева А.В. Етнічні кухні : навч. посіб. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. 159 с.
5. Latoch A., Czarniecka-Skubina E., Moczowska-Wyrwisz M. Marinades Based on Natural Ingredients as a Way to Improve the Quality and Shelf Life of Meat: A Review. *Foods*. 2023. № 12(19). P. 36–38.
6. Jiyoung K., Ki Won L. Coffee and its Active Compounds are Neuroprotective. *Coffee in Health and Disease Prevention*. 2015. 46. P. 423–427.

7. Rojas-González A., Figueroa-Hernández C.Y., González-Rios O., Suárez-Quiroz M.L., González-Amaro R.M., Hernández-Estrada Z.J., Rayas-Duarte P. Coffee Chlorogenic Acids Incorporation for Bioactivity Enhancement of Foods: A Review. *Molecules*. 2022. 27(11). P. 3400.
8. Zhixun S., Meiqi L., Wei Z., Shengbao C., Xiaosong H., Junjie Y. Analysis of phenolic compounds in pickled chayote and their effects on antioxidant activities and cell protection. *Food Research International Volume*. 2022. № 157. P. 111325.
9. Davis A.P., Chadburn H., Moat J., O'Sullivan R., Hargreaves S., Lughadha E. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Sci Adv*. 2019. № 5(1). P. 3473.
10. International Coffee Organization (ICO) : веб-сайт. URL: [https://www.ico.org/mission07_e.asp?section=About Us](https://www.ico.org/mission07_e.asp?section=About%20Us) (дата звернення: 08.11.2023).
11. Samoggia A., Riedel B. Consumers' Perceptions of Coffee Health Benefits and Motives for Coffee Consumption and Purchasing. *Nutrients*. 2019. № 11(3). P. 653.
12. Alsanad M.A., Sassine Y.N., Sebaaly Z.E., Fayssal S.A. Spent coffee grounds influence on *Pleurotus ostreatus* production, composition, fatty acid profile, and lignocellulose biodegradation capacity. *Journal of Food*. 2021. № 19(1). P. 11–20.
13. Surma S., Oparil S. Coffee and Arterial Hypertension. *Current Hypertension Reports*. 2021. № 23. P. 38.
14. Пешук Л.В., Іщенко В.М., Штик І.І., Іванова Т.М. Використання маринадів на основі харчових кислот для приготування напівфабрикатів з м'яса дикого кабана. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. Гжицького*. 2014. Т. 16, Ч. 14. № 2 (59). С. 164–169.
15. Liao Y.C., Chang C.C., Nagarajan D., Chen C.Y., Chang J.S. Algae-derived hydrocolloids in foods: applications and health-related issues. *Bioengineered*. 2021. № 12(1). P. 3787–3801.

REFERENCES:

1. Qian-Da, X., Zhi-Long, Yu., Qiang, H., Wei-Cai, Z. (2023). Migration of phenolic compounds in meat during marinating process: Action rule, mass transfer and mechanism. *LWT*, V. 185, 115192.
2. Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., Lorenzo, J.M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants (Basel)*, № 8(10), 429.
3. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn Rev.*, № 4(8), 118–126.
4. Slasheva, A.V. (2020). Etnichni kuhni: navch. posib. [Ethnic cuisines: education. manual]. Kryvyi Rih: DonNUET, 159 p [in Ukrainian].
5. Latoch, A., Czarniecka-Skubina, E., Moczowska-Wyrwisz, M. (2023). Marinades Based on Natural Ingredients as a Way to Improve the Quality and Shelf Life of Meat: A Review. *Foods*, № 12(19), 36–38.
6. Jiyoung, K., Ki Won, L. (2015). Coffee and its Active Compounds are Neuroprotective. *Coffee in Health and Disease Prevention*, 46, 423–427.
7. Rojas-González, A., Figueroa-Hernández, C.Y., González-Rios, O., Suárez-Quiroz, M.L., González-Amaro, R.M., Hernández-Estrada, Z.J., Rayas-Duarte, P. (2022). Coffee Chlorogenic Acids Incorporation for Bioactivity Enhancement of Foods: A Review. *Molecules*, 27(11), 3400.
8. Zhixun, S., Meiqi, L., Wei, Z., Shengbao, C., Xiaosong, H., Junjie, Y. (2022). Analysis of phenolic compounds in pickled chayote and their effects on antioxidant activities and cell protection. *Food Research International Volume*, № 157, 111325.
9. Davis, A.P., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., Lughadha, E. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Sci Adv*, № 5(1), 3473.

10. International Coffee Organization (ICO) : website. URL: https://www.ico.org/mision07_e.asp?section=About_Us (date of application: 08.11.2023).
 11. Samoggia, A., Riedel, B. (2019). Consumers' Perceptions of Coffee Health Benefits and Motives for Coffee Consumption and Purchasing. *Nutrients*, № 11(3), 653.
 12. Alsanad, M.A., Sassine, Y.N., Sebaaly, Z.E., Fayssal, S.A. (2021). Spent coffee grounds influence on *Pleurotus ostreatus* production, composition, fatty acid profile, and lignocellulose biodegradation capacity. *Journal of Food*, № 19(1), 11–20.
 13. Surma, S., Oparil, S. (2021). Coffee and Arterial Hypertension. *Current Hypertension Reports*, № 23, 38.
 14. Peshuk L.V., Ishchenko V.M., Shtyk I.I., Ivanova T.M. (2014). Viktoristannya marinadiv na osnovi harchovih kislot dlya prigotuvannya napivfabrikativ z m'ysa dikogo kabana [The use of marinades based on food acids for the preparation of semi-finished products from wild boar meat]. *Naukovij visnik LNUVMBT im. Gzhickogo – Scientific Bulletin of LNUVMBT named after Gzhitskyi*, Vol. 16, Ch. 14, № 2(59), 164–169 [in Ukrainian].
 15. Liao, Y.C., Chang, C.C., Nagarajan, D., Chen, C.Y., Chang, J.S. (2021). Algae-derived hydrocolloids in foods: applications and health-related issues. *Bioengineered*, № 12(1), 3787–3801.
-

УДК 614.9:579.62:613, 287:613,287.5
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.16>

ВИВЧЕННЯ НЕДОЛІКІВ ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДОВОЛЬНОЇ СИРОВИНИ І ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

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

Кузьмінська І. М. – кандидат технічних наук,
асистент кафедри харчових технологій виробництва
й стандартизації харчових продуктів
Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»
ORCID ID: 0000-0002-4499-0910

Наведені результати вивчення недоліків фізичних методів оцінки якості продовольчої сировини харчових продуктів. Запропоновано калібрувальну залежність для кількісної оцінки вмісту м'яса курки та індички в змішаному фарші на підставі співвідношення інтегральних інтенсивностей ліній в спектрах ЯМР. Аналіз спектрів ^{13}C ЯМР показав, що жири індички і курки складаються, головним чином, з гліцеридів олеїнової і лінолевої (ненасичені) кислот, і на насичених кислот (стеаринової, пальмітинової). Кількісні співвідношення цих кислот в жирах індички і курки розрізняються, що і визначає можливість застосування спектральних методів для ідентифікації м'яса індички і курки, а також, в деяких межах, визначення складу змішаного фаршу з м'яса цих птахів. Результати показали, що чутливість методу мікробіологічного скринінг-аналізу є різною для кожного антимікробного препарату залежно від їх фармакокінетичних властивостей (біодоступності, ступеня сполучення з білками, шляхів та швидкості виведення з організму тварини тощо). Враховуючи термін каренції для тих активно діючих антимікробних речовин, які були використані в досліді, можна стверджувати, що в цілому цим методом можна встановити їх присутність у тушках птиці протягом періоду їх виведення, оскільки термін каренції тилозину, хлортетрацикліну та сульфаметоксазолу+триметоприм з організму птиці становить 2 доби, за винятком амоксициліну, період виведення якого з м'яса птиці становить 8 діб. Позитивно зарекомендував себе при аналізі харчових продуктів поляризаційний флуоресцентний імуноаналіз, заснований на зв'язуванні певної сполуки та трейсера (аналіз з флуоресцентною міткою) з антитілами. Проаналізовано існуючі фізичні засоби та методи експертизи якості, ідентифікації та виявлення фальсифікації продуктів тваринного походження та виявлено їх недоліки. Встановлено, що більшість методів є працездатні, малопродуктивні і не можуть бути використані для оперативного контролю якості м'яса, особливо, на малих підприємствах, де відсутнє спеціалізоване обладнання. Звідси виникла необхідність розробки об'єктивних лабораторних експресних методів дослідження м'яса. Використання сучасних досягнень фізики, хімії, біохімії дозволяє адаптувати ці результати для розробки прискорених і надійних за своєю специфічністю і чутливістю методи експертизи якості продовольчої сировини і харчових продуктів.

Ключові слова: якість, методи контролю, сировина, м'ясо, фальсифікація, білок, антибіотики, фізичні методи.

Prylipko T. M., Kuzminska I. M. Study of the shortcomings of physical methods of assessing the quality of food raw materials and food products

The results of the study of the shortcomings of physical methods of assessing the quality of food raw materials of food products are presented. A calibration dependence is proposed for the quantitative assessment of the content of chicken and turkey meat in mixed minced meat based on the ratio of integral line intensities in NMR spectra. Analysis of ^{13}C NMR spectra showed that turkey and chicken fats consist mainly of glycerides of oleic and linoleic

(unsaturated) acids, and saturated acids (stearic, palmitic). Quantitative ratios of these acids in turkey and chicken fats differ, which determines the possibility of using spectral methods for the identification of turkey and chicken meat, as well as, within certain limits, determining the composition of mixed minced meat from the meat of these birds. The results showed that the sensitivity of the microbiological screening analysis method is different for each antimicrobial drug depending on their pharmacokinetic properties (bioavailability, degree of protein binding, routes and speed of elimination from the animal's body, etc.). Taking into account the withdrawal period for those active antimicrobial substances that were used in the experiment, it can be stated that, in general, this method can establish their presence in poultry carcasses during the period of their removal, since the withdrawal period of tylosin, chlortetracycline and sulfamethoxazole + trimethoprim from the bird's body is 2 days, with the exception of amoxicillin, the elimination period of which from poultry meat is 8 days. Polarization fluorescent immunoassay, based on the binding of a certain compound and a tracer (fluorescence-labeled assay) with antibodies, has proven itself positively in the analysis of food products. The existing physical means and methods of quality examination, identification and detection of falsification of products of animal origin were analyzed and their shortcomings were identified. It was established that most methods are labor-intensive, low-productivity and cannot be used for operational control of meat quality, especially in small enterprises where there is no specialized equipment. This led to the need to develop objective laboratory express methods of meat research. The use of modern achievements of physics, chemistry, biochemistry allows to adapt these results for the development of accelerated and reliable in their specificity and sensitivity methods of examination of the quality of food raw materials and food products.

Key words: quality, control methods, raw materials, meat, adulteration, protein, antibiotics, physical methods.

Постановка проблеми. До традиційних фізичних методів оцінки продукції тваринництва відносять визначення ступеня свіжості та показників якісного складу м'ясопродуктів [1, с. 37].

Для швидкої оцінки бактеріального забруднення поверхні м'яса можна застосовувати ІК спектроскопію в приборі, що функціонує в режимі вимірювання послаблення загального відбиття, що дозволяє досліджувати місцеположення в просторі бактеріальних колоній на поверхні курячого м'яса [2, с. 6]. Ступінь псування м'яса можна також визначити [3, с. 9] методом маспектроскопії з реакцією переносу протону (МС-РПП). На основі цього методу вимірюють і ідентифікують летючі сполуки, що виділяються при псуванні м'яса. Потім досліджують залежність їх виділення від часу зберігання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки вмісту жиру використовують метод абсорбції рентгенівських променів за допомогою медичного денситометра. Основою методу є використання рентгенівського випромінювання подвійної енергії. Рутинне застосування методу представляється можливим, хоча й вимагає попередньої калібровки [7, с. 208].

В якості методів виявлення фальсифікації найчастіше застосовують люмінесцентний аналіз, який дозволяє виявити видову фальсифікацію м'яса. Проте він ефективний у разі оцінки кусків м'яса однієї тварини, та може встановити ідентифікаційні ознаки за критеріями анатомічних частин [8, с. 76].

Завдяки працям [6, с. 43] розповсюдження набули способи мікроструктурного методу контролю м'ясних напівфабрикатів і ковбасних виробів, які дозволяють виявляти фальсифікацію, проводити ідентифікацію складників та встановлювати реальний склад більшості м'ясопродуктів.

Доведено ефективність гістологічних методів дослідження, що дають можливість оцінити структуру продукту в цілому, диференціювати особливості різних тканинних елементів і клітинних структур, виявляти заміну якісної сировини малоцінними добавками, рослинними білками тощо [8, с. 72]. Метод гістологічного аналізу дозволяє досить швидко отримати результати та оцінити реальний

склад більшості видів м'ясопродуктів, що дає підстави рекомендувати його для контролю якості і виявлення фальсифікації м'ясопродуктів [6, с. 45].

В Україні вже затверджений і введений в дію з 1 січня 2010 року ДСТУ 7063:2009 «Напівфабрикати м'ясні та м'ясо-рослинні січені. Визначення складників мікροструктурним методом», за допомогою якого можна визначати у м'ясних фаршах, ковбасах та інших м'ясних напівфабрикатах вміст різних тканин, органів, спецій, добавок та встановити можливі фальсифікації м'ясопродуктів [4, с. 102].

Проте слід відзначити, що робота з сировиною в харчових продуктах має свої особливості, оскільки, в цьому випадку, дослідженню підлягають матеріали після механічної, термічної та інших видів технологічної обробки. Метод гістологічного аналізу дозволяє досить швидко отримати результати, оцінити якість та реальний склад більшості видів м'ясопродуктів. Іноді якісні характеристики та видову ідентифікацію проводять за даними властивостей компонентів хімічного складу: білків, жирів та ін. [9, с. 78].

Постановка завдання. Завданням цього дослідження було вивчення недоліків фізичних методів оцінки якості продовольчої сировини і харчових продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ідентифікація м'яса птиці за білковим складом може давати суперечливі результати, пов'язані з їх різноманіттям, відмінностями в складі білків, їх віком, складом корму і ін. Виходячи з того, що жири птахів являють собою суміш гліцеридів різних жирних кислот з'являється можливість ідентифікувати м'ясо птиці за допомогою спектрального аналізу складу відповідних жирів. Запропоновано калібрувальну залежність для кількісної оцінки вмісту м'яса курки та індички в змішаному фарші на підставі співвідношення інтегральних інтенсивностей ліній в спектрах ЯМР [6, с. 44].

Аналіз спектрів ^{13}C ЯМР показав, що жири індички і курки складаються, головним чином, з гліцеридів олеїнової і лінолевої (ненасичені) кислот, і на насичених кислот (стеаринової, пальмітинової). Кількісні співвідношення цих кислот в жирах індички і курки розрізняються, що і визначає можливість застосування спектральних методів для ідентифікації м'яса індички і курки, а також, в деяких межах, визначення складу змішаного фаршу з м'яса цих птахів.

Для забезпечення випуску якісної та безпечної продукції, а також попередження попадання в організм людини шкідливих речовин у кількостях, що перевищують гігієнічні норми, важливе значення має контроль за вмістом контамінантів хімічного та біологічного походження. Для визначення залишків антимікробних препаратів у сировині та продуктах тваринного походження застосовують різні методи: фізико-хімічні, імунологічні, біологічні тощо.

Мікробіологічні методи сьогодні залишаються одними з найефективніших, простих у виконанні та відносно недорогих методів визначення залишків антимікробних препаратів у сировині та продуктах тваринного походження [9, с. 80]. У більшості випадків вони дають можливість встановити відсутність в їх складі широкого спектру антимікробних речовин, або присутність антибіотиків у концентраціях, рівних або нижчих за встановлені гранично допустимі норми для конкретного виду продукції.

Існує метод мікробіологічного скринінг-аналізу визначення залишків антимікробних препаратів STOP у тушах тварин [7, с. 361]. Даний метод дає можливість встановити присутність антибіотичних речовин чотирьох фармацевтичних груп (бета-лактамів, тетрациклінів, сульфаніламідів) протягом 2–3 діб після останнього їх введення сільськогосподарській птиці у терапевтичних дозах. Результати показали, що чутливість методу є різною для кожного антимікробного препарату

залежно від їх фармакокінетичних властивостей (біодоступності, ступеня сполучення з білками, шляхів та швидкості виведення з організму тварини тощо). Враховуючи термін каренції для тих активно діючих антимікробних речовин, які були використані в досліді, можна стверджувати, що в цілому цим методом можна встановити їх присутність у тушках птиці протягом періоду їх виведення, оскільки термін каренції тилозину, хлортетрацикліну та сульфаметоксазолу+триметоприм з організму птиці становить 2 доби, за винятком амоксициліну, період виведення якого з м'яса птиці становить 8 діб.

Часто для визначення вмісту антибіотиків в сировині використовують фізико-хімічні методи аналізу [5, с. 83]. Позитивно зарекомендував себе при аналізі харчових продуктів поляризаційний флуоресцентний імуноаналіз, заснований на зв'язуванні певної сполуки та трейсера (аналіз з флуоресцентною міткою) з антитілами [6, с. 47].

Фахівцями розроблені методики визначення аміноглікозидних антибіотиків (гентаміцин, канаміцин, стрептоміцин) цим методом у харчових продуктах, а саме м'яси курки та молоці [11, с. 61]. Розроблена методика хоча й характеризується високою продуктивністю, проте є досить селективною та може використовуватися тільки для визначення певної групи антибіотиків.

Визначення хінолових антибіотиків в м'ясі птиці при використанні рідинної хроматографії з мас-спектроскопічним детектуванням. Стандартна методика одночасного визначення 7 фторохінолових і 2 хінолових антибіотиків в біологічних тканинах домашньої птиці. Із проби екстрагують сумішшю води і ацетонітрилу і екстракт аналізують методом рідинної хроматографії на колонці ЯР-18 з застосуванням мас-спектроскопічного детектування. Межі виявлення складають приблизно 10 мкг/кг [10, с. 22].

Мультизалишки фторхінолінів антибіотиків визначають за допомогою рідинної хроматографії – тандемної мас-спектроскопії. Даний метод дозволяє визначити 11 нових фторхінолінів в нирках свині: норфлоксацин, офлоксацин, ципоксацин, оксолінова кислота, флюмехін. Методика містить швидку і ефективну попередню обробку з застосуванням твердофазної екстракції, наступне чуттєве і селективне визначення усіх з'єднань в одному циклі. В якості внутрішнього стандарту застосовують хінін. Міра вірності складає 89...109%. Відносне стандартне відхилення менше 0,15 [5, с. 89].

Кількісне визначення сульфонамідів в м'ясі рідинно-хроматографічним – електроструменевим – мас – спектрометричним методом. Методика дозволяє визначити в м'ясі 9 розповсюджених сульфонамідів. Сульфонаміди виділяються із м'яса екстракцією розчинниками а потім визначалися за допомогою рідинно-хроматографічного-електроструменевого-мас-спек-трометричного методу. Межа визначення не нижче 10 мкг/кг. Добра застосовність методу при аналізі яловичини, свинини, курей [9, с. 77].

Простий метод високоефективної рідинної хроматографії визначення залишкового апроліуму в тканинах курчат. Метод заснований на використанні високо-ефективної рідинної хроматографії з фотодіодним детектором після попередньої очистки зразків на блоці ультрафільтрації з трьома мембранами ультрацентрифугування. Хроматографічне визначення проводиться з використанням колонки Mightysil РсР-4 в Р. Межі виявлення 0,22 мкг/кг для м'язової тканини курчат і 0,25 мкг/кг для тканини печінки. При застосуванні даного методу не використовуються токсичні розчинники чи реагенти [11, с. 26].

Існує методика визначення залишків макролідних антибіотиків в м'язах свійскої птиці за допомогою рідинної хроматографії і електро-розпилювальної мас-спектроскопії, згідно до якої з проби виділяють аналітичним шляхом екстракції розчином НРОЗ в суміші метанолу і води, екстракт піддають очищенню шляхом твердофазної екстракції в картриджі з катіонітом і аналізують методом рідинної хроматографії на колонці з С18-сілікагелем при градієнтному елююванні сумішами води і ацетонітрилу і детектуванні за допомогою мас-спектроскопії з електро-розпилювальною іонізацією. Межі виявлення складають 1...20 мкг/л. Відносне стандартне відхилення менше 0,12. Межа вірності 56...93% [6, с. 42].

Визначення кількості залишків фторхінолових антибіотиків в тканині курчат проводять із застосуванням поєднання методів рідинної хроматографії, флюоресценції і багатомірної мас-спектроскопії. Для визначення кількості залишків фторхінолових антибіотиків розроблений ефективний метод рідинної хроматографії з кількісним визначенням за допомогою флюоресценції і багатомірної мас-спектроскопії (МСП). За допомогою даного методу можна визначати 8 фторхінолонів в печінці і тканинах м'язів з вірністю 93% при вмісті їх на рівні 10...200 нг/г. Підтвердження ідентичності фтор-хінолонів досягається шляхом контролю співвідношень 2 отриманих іонів в тандемній мас-спектроскопії.

Визначення залишків естрогенів, гестагенів і андрогенів в нирковому жирі і м'ясі проводять за допомогою газової хроматографії і тандемної мас-спектроскопії, і тому можливо визначати слідові кількості залишків естрогенів з застосуванням детектування тандемною мас-спектроскопією. Межа визначення для бета-треболоніа складає 2 мкг/кг [7, с. 54].

Набув розвитку метод рідинної хроматографії/мас-спектро-скопії для бензimidазолів в м'ясі і м'ясопродуктах. Для кількісної оцінки залишкових кількостей бенzimidазолів-альбендазолу, диметридазолу, фен-бендазолу, флюбендазолу, левамизолу, мембендазолу, оксифендазолу, перендазолу, тіабендазолу і трикламбендазолу, що паразитують в м'ясі великої рогатої худоби, свиней і курей існує метод, заснований на використанні газової хроматографії з фотодіодним детектором і мас-спектроскопії. Аналізовані зразки м'яса подрібнюють, екстрагують метанолом, екстракт пропускають через твердофазну колонку і вимивають сумішшю дихлорметану і гексану, потім упарюють, а залишок розчиняють в метанолі. Мінімальна межа виявлення бензамідазолів складає 0,01 мг/кг [7, с. 318].

Модифікований і спрощений метод екстракції для визначення значень тіобарбітурового числа в м'ясі з підвищеною специфічністю. Після центрифугування екстракту відварної яловичини екстракт піддавали взаємодії з 80 мл тіобарбітурової кислоти при 400 [10, с. 29].

Згідно з Законом України «Про рибу, інші водні живі ресурси та харчову продукцію з них» [11, с. 68] виробництво суб'єктів господарювання, які переробляють продукти лову, підлягають атестації відповідно до обов'язкових вимог технічної та нормативної документації (НД), вимогам щодо переробляння, добування, зберігання, транспортування. Виробник повинен забезпечити контроль якості та безпечності продуктів вилову та харчових продуктів з них на усіх стадіях їх переробляння та супутніх матеріалів. Такий контроль здійснює виробнича лабораторія, яка підлягає атестації.

Для оцінки якості риби та продуктів її переробки пріоритетно використовуються органолептичні показники, але вони, в основному, характеризуються описовою термінологією і допускають можливість широкого тлумачення формулювань. У процесі зберігання риби та рибопродуктів в результаті активності

ендогенних ферментів і бактерій в м'язовій тканині утворюються аміак, моно, ди-і триметіламін, гістамін, путресцин, кадаверин та інші речовини [7, с. 496]. Накопичення гістаміну в рибі може відбуватися в період від вилову до заморожування, особливо, якщо риба в цей період зберігається без охолодження. Можливе накопичення гістаміну в рибі при порушенні ланцюга холодильного зберігання і недотриманні технології відтаювання та термінів зберігання перед термічною обробкою. У цих випадках у м'язовій тканині деяких видів риб може відбуватися накопичення гістаміну до токсичних рівнів.

Розробка надійних методів визначення та організація контролю вмісту цих речовин можлива з використанням інструментальних методів оцінки якості та безпеки цих продуктів. Найбільш часто оцінку якості цієї продукції здійснюють за змістом азотистих летючих підстав і триметиламіну. В основі відомого методу визначення гістаміну лежить вимір інтенсивної флуоресценції похідного, отриманого при взаємодії гістаміну з о-фталевим альдегідом. Метод включає наступні етапи: підготовку зразка до аналізу; екстракцію метанолом; очищення екстракту за допомогою іонообмінної хроматографії; побудова калібрувальної кривої; кількісне визначення гістаміну. Базовий метод визначення вмісту гістаміну в рибопродуктах є метод, наведений у СанПиН 42-123-4083-86.

Висновки. Таким чином проаналізовано існуючі фізичні засоби та методи експертизи якості, ідентифікації та виявлення фальсифікації продуктів тваринного походження та виявлено їх недоліки. Встановлено, що більшість методів є малопродуктивні і не можуть бути використані для оперативного контролю якості м'яса, особливо, на малих підприємствах, де відсутнє спеціалізоване обладнання. Звідси виникла необхідність розробки об'єктивних лабораторних експресних методів дослідження м'яса. Використання сучасних досягнень фізики, хімії, біохімії дозволяє адаптувати ці результати для розробки прискорених і надійних за своєю специфічністю і чутливістю методи експертизи якості продовольчої сировини і харчових продуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. НАССР: Аналіз небезпечних чинників та критичні точки контролю у виробництві харчових продуктів і продовольчої сировини: Навчальний посібник. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 70 с.
2. ДСТУ ISO 9001–2001. Системи управління якістю. Вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 2001. 14 с.
3. ДСТУ 4161–2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 13 с.
4. Хицька О.А. Ризик-орієнтована система контролю безпечності харчових продуктів: аналіз міжнародного та національного законодавства. *Збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. Ветеринарні науки*. Харків. Вип. 35. Ч. 2, Т. 3. 2018. С. 102–106.
5. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue (02). 2021. P. 83–91.
6. Приліпко 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.

7. Якубчак О.М., Хоменко В.І., Мельничук С.Д. Ветеринарно-санітарна експертиза з основами технології і стандартизації продуктів тваринництва. Київ.: Біопром, 2005. 799 с.
8. Prylipko T.M., Kostash V. B., Pidlisnyj V.V., Semenov A. M. Improvement of methods of identification of meat types. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. April 2023. P. 72–77.
9. Prylipko T.M., Koval T.V. Method of operational quality control of meat raw materials and meat products. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. April 2023. P. 78–83.
10. Prylipko T. Control of the Quality and Safety of Dairy Products in Ukraine: International and Legal Aspects. *European Food and Feed Law Review*. Volume 18. 2023. Issue 1. P. 22–30.
11. Bohatko N. M., Bukalova N. V., Prylipko T. M., Khitska O. A., Mazur T. G., Lysova V. P. Sanitary and hygienic condition of refrigerators and sanitary measures facilities for the production and sale of broiler chicken meat. *Monograph series "Heritage of European science '2023"*. *Scientific World-NetArhatAV*. Karlsruhe, Germany, 2023. Book 17, Part 4. P. 61–71.

REFERENCES:

1. NASSR: Analiz nebezpechnykh chynnykiv ta krytychni tochky kontroliu u vyrobnytstvi kharchovykh produktiv i prodovolchoi syrovyny (2005): Navchalnyi posibnyk. Kyiv: DP "UkrNDNTs", 70 s. [in Ukrainian].
2. DSTU ISO 9001–2001. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy (2001). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 14 s. [in Ukrainian].
3. DSTU 4161–2003. Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy (2003). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 13 s. [in Ukrainian].
4. Khitska O.A. (2018). Ryzhko-orientovana systema kontroliu bezpechnosti kharchovykh produktiv: analiz mizhnarodnoho ta natsionalnoho zakonodavstva. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoi derzhavnoi zooveterynarnoi akademii Problemy zoonzhenerii ta veterynarnoi medytsyny. Veterynarni nauky*. Kharkiv. Vyp. 35. Ch. 2, T. 3. S. 102–106. [in Ukrainian].
5. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. (2021). Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue (02). P. 83–91. [in Ukrainian].
6. 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 tekhnologii*. № 35. S. 43–48. [in Ukrainian].
7. Yakubchak O.M., Khomenko V.I., Melnychuk S.D. (2005). Veterinarно-санітарна експертиза з основ технології і стандартизації продуктів тваринництва. Київ.: Біопром, 2005. 799 с. [in Ukrainian].
8. Prylipko T.M., Kostash V. B., Pidlisnyj V.V., Semenov A. M. (2023). Improvement of methods of identification of meat types. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. P. 72–77. [in German].
9. Prylipko T.M., Koval T.V. (2023). Method of operational quality control of meat raw materials and meat products. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. P. 78–83. [in Ukrainian].

10. Prylipko T. (2023). Control of the Quality and Safety of Dairy Products in Ukraine: International and Legal Aspects. *European Food and Feed Law Review*. Volume 18. Issue 1. P. 22–30. [in Ukrainian].

11. Bohatko N. M., Bukalova N. V., Prylipko T. M., Khitska O. A., Mazur T. G., Lysota V. P. (2023). Sanitary and hygienic condition of refrigerators and and sanitary measures facilities for the production and sale of broiler chicken meat. *Monograph series "Heritage of European science '2023"*. *Scientific World-NetArhatAV*. Karlsruhe, Germany. Book 17, Part 4. P. 61–71. [in Germany].

УДК 664

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.17>

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КИСЛОМОЛОЧНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ

Резвих Н. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

Гладун В. В. – магістрант II курсу біолого-технологічного факультету
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0008-2880-3303

Доведено, що молочні продукти посідають важливе місце серед всіх харчових продуктів і є найважливішим джерелом вітамінів, незамінних амінокислот і вищих жирних кислот. Переважно, в більшості країн світу, і саме в Україні, в щоденному раціоні людини застосовують коров'яче молоко. Щорічне ріді інтересу людей до кисломолочних продуктів зумовлений науково обґрунтованим позитивним впливом на організм людей. Проаналізувано існуючі способи отримання функціональних кисломолочних продуктів дійшли висновку, що вони всі складаються з наступних етапів: очищення та нормалізації сировини, її пастеризації, охолодження, додавання закваски, сквашування та охолодження до температури подальшого зберігання отриманого кисломолочного продукту. Функціональні інгредієнти вносять на будь яких етапах виробничого процесу: додають з закваскою кисломолочного продукту або вводять до закваски або після додавання закваски і сквашування.

Функціональні кисломолочні напої це продукти збагачені біологічно активними речовинами, рослинними білками, мінеральними речовинами, вітамінами, харчовими волокнами, поліфенолами та рослинними оліями. Кисломолочні напої, як відомо сприяють підвищенню імунітету організму, нормалізують роботу кишечника, активізують обмінні процеси, мають високі харчові, дієтичні та лікувальні властивості. Разом з тим, актуальним залишається питання про використання добавок рослинного походження у виробництві кефіру. Адже, саме ці компоненти містять значну кількість біологічно-активних речовин, вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів тощо.

Перспективним є внесення в рецептурні композиції молочних продуктів різного рослинної сировини. Як рослинну сировину для збагачення молочної сировини використовують досить широкий спектр рослинних інгредієнтів: ягоди, бобові, плоди, зернові і продукти їх переробки (шроту, макуха, борошно), різні олійні культури тощо.

Ключові слова: кисломолочні продукти, напої, інгредієнти.

Rezvykh N. I., Gludun V. V. Analysis of modern production technologies functional dairy products

It has been proven that dairy products occupy an important place among all food products and are the most important source of vitamins, essential amino acids and higher fatty acids. Mostly, in most countries of the world, and especially in Ukraine, cow's milk is used in the daily human diet. The annual growth of people's interest in fermented milk products is due to the scientifically proven positive effect on the human body. The existing methods of obtaining functional fermented milk products were analyzed and concluded that they all consist of the following stages: purification and normalization of raw materials, pasteurization, cooling, addition of leaven, fermentation and cooling to the temperature of further storage of the obtained fermented milk product. Functional ingredients are introduced at any stage of the production process: they are added with the leaven of the fermented milk product, or they are introduced into the leaven or after the addition of the leaven and fermentation.

Functional fermented milk drinks are products enriched with biologically active substances, vegetable proteins, minerals, vitamins, dietary fibers, polyphenols and vegetable oils. Sour milk drinks, as is known, help to increase the body's immunity, normalize the work of the intestines, activate metabolic processes, have high nutritional, dietary and medicinal properties.

At the same time, the question of the use of additives of plant origin in the production of kefir remains relevant. After all, these components contain a significant amount of biologically active substances, vitamins, organic acids, flavonoids, etc.

It is promising to introduce various plant raw materials into the recipe compositions of dairy products. A fairly wide range of plant ingredients are used as vegetable raw materials for the enrichment of dairy raw materials: berries, legumes, fruits, grains and their processing products (meal, cake, flour), various oil crops, etc.

Key words: *fermented milk products, drink, ingredients.*

Вступ. На сьогоднішній день, молочні продукти посідають важливе місце серед всіх харчових продуктів і є найважливішим джерелом вітамінів групи А, D, В1, В2, В12, незамінних амінокислот і вищих жирних кислот. Так, молоко відносять не тільки до основних харчових продуктів, а й до лікувально-профілактичних засобів [1]. В різних кранах світу широкий інтерес викликають кисломолочні функціональні напої, одержані з молока, сквашеного різними молочнокислих бактерій. Проведені науковцями, багаторічні дослідження, підтверджують позитивний вплив кисломолочних функціональних продуктів на організм людини. Вони сприятливо впливають на травну та серцево-судинну системи зокрема і на весь організм у цілому. Продукти з молока сприяють підвищенню імунітету і поліпшенню обміну речовин.

Постановка проблеми. Переважно, в більшості країн світу, і саме в Україні, в щоденному раціоні людини застосовують коров'яче молоко, рідше – козяче, овече, кобиляче [2]. З молока й корисних мікроорганізмів шляхом сквашування отримують різні кисломолочні продукти. Для українців традиційними є такі кисломолочні продукти як: кефір, ряжанка, йогурт, сметана тощо. Концепція оптимального харчування, що передбачає необхідність повного забезпечення організму не тільки енергією, есенційними макро- і мікронутрієнтами, але й цілою низкою життєво важливих мінерних компонентів їжі і спонукає до появи на продовольчому ринку нетрадиційних для нашого регіону кисломолочні продуктів на основі як притаманного для нас коров'ячого молока та інших видів молочної сировини. Серед новинок ринку є такі напої: айран, тан, кумис, мацун тощо.

Щорічне ріст інтересу людей до кисломолочних продуктів зумовлений науково обґрунтованим позитивним впливом на організм людей [3, 4]. На кафедрі харчових технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету велика увага приділяється розробці та удосконаленню технологій виробництва кисломолочних функціональних продуктів, створенню нових рецептур.

Мета дослідження: проаналізувати існуючі способи виготовлення кисломолочних продуктів, вивчити асортимент кисломолочних продуктів представлених на ринку, дослідити органолептичні показники розробленого нами кисломолочного функціонального продукту – напою айрану та здійснити порівняльний аналіз із промисловими зразками напою даного виду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши існуючі способи отримання функціональних кисломолочних продуктів дійшли висновку, що вони всі складаються з наступних етапів: очищення та нормалізації сировини, її пастеризації, охолодження до температури заквашування 27 ± 1 °С, додавання закваски, сквашування та охолодження до температури подальшого зберігання отриманого кисломолочного продукту. Функціональні інгредієнти вносять на будь яких етапах виробничого процесу: додають з закваскою кисломолочного продукту або вводять до закваски або після додавання закваски і сквашування [3].

Науковцями запропонований спосіб отримання кисломолочного продукту, згідно з яким білок яйця застосовують як функціональний інгредієнт. Даний

спосіб є трудомісткий, змінює органолептичні властивості, якщо трапляється відхилення від технологічних режимів, призводить до отримання продукту низької якості з низкими органолептичними та структурними властивостями [4].

Відомий спосіб одержання кисломолочних функціональних продуктів для харчування, які характеризуються лікувально-профілактичними властивостями. В даному способом як функціональні інгредієнти застосовують дві добавки природнього походження – інуліномісткі і глікозідомісткі, а також ароматичну добавку. Дані речовини застосовують при складанні дієт і при коригуванні харчування людей з цукровим діабетомі. Його одержують в процесі екстракції із кореня цикорію. Інуліномістку добавку додають до молочної основи після її пастеризації, а глікозідомісткі і ароматичну добавки – після сквашування [4–6]. Застосування даних інгредієнтів призводить до збільшення в створеному продукті кислотності, призводить до зниження термінів придатності і зменшує кількість корисної мікрофлори.

Вченими розроблений спосіб одержання кисломолочного функціонального продукту, який використовує один функціональний рослинний компонент – концентрат топінамбура або його подрібнені бульби. Згідно з запропонованим способом топінамбур додають до білкової фракції, далі суміш пастеризують при температурі 78–82 °С тривалістю 18–22 хв, далі охолоджують і вносять закваску [5]. Недоліком запропонованого способу є те, що додавання функціонального рослинного інгредієнту знижує споживчі властивості одержаного продукту і для збереження його консистенції необхідне внесення харчової добавки класу стабілізаторів.

Дослідниками було запропоновано кисломолочний напій з використанням соків від фруктів і імбирним екстрактом. Одержаний напій має приємний пряний смак, злегка гоструватий з легкими нотками доданого соку із фруктів. В рецептурі розробленого напою є: підсирна сироватка, сік фруктовий, екстракт імбиру, стабілізатор, підсолоджувач [2]. Кисломолочний функціональний напій характеризується високою харчовою та енергетичною цінністю. Додані рослинні компоненти, дозволяють віднести даний напій до функціонального і збагачують його незамінними амінокислотами, вітамінами, макро- і мікроелементами. Кисломолочний функціональний напій, виготовлений згідно з запропонованим способом, призначений для споживання всіма групами споживачів, сприяє розширенню асортименту кисломолочних функціональних продуктів.

Використання різноманітних рослинних наповнювачів і добавок удосконалює рецептури кисломолочних функціональних напоїв. Розробляються нові види функціональних кисломолочних продуктів. В залежності від типу рослинної сировини добавки для виготовлення функціональних кисломолочних продуктів поділяються на плодови (горіхоплідні та ягідні) та овочеві (зернобобові та коренеплідні).

Встановлено, що внесення напівфабрикатів з рослинної сировини підвищує харчову цінність кисломолочних функціональних продуктів, і покращує органолептичні та якісні характеристики. Відбувається збагачення кисломолочних продуктів вітамінами, мінеральними компонентами, біологічно активними речовинами.

Науковцями доведено, що внесення до рецептури кисломолочних продуктів кедрового горіху, волоського горіху та фундуку) позитивно впливає на організм людини. Внесення тритикале, амаранту або нуту збагачує кисломолочні продукти амінокислотами, вітамінами, мінеральними речовинами, рослинними жирами та легкозасвоєваними вуглеводами

Відомий спосіб додавання до кисломолочного напою сколотини.. Сколотина одержують під час виробництва вершкового масла. Сколотина є джерелом білку, адже містить велику кількість сірковмісних амінокислот. Сколотині характерні виражені імунomodуючі та ліпотропні властивості. Проведений аналіз вітчизняних і закордонних способів виробництва інноваційних оздоровчих кисломолочних напоїв показав, що в якості смакових і (або) збагачуючих добавок для виробництва функціональних кисломолочних напоїв застосовують плодово-ягідні і морські рослини. Плоди та ягоди диких рослин є цінними джерелами мінеральних речовин таких як, калій, кальцій, магній та ін. Проте висока біологічна активність плодів і ягід диких рослин пов'язана з високим вмістом в них вітамінів, таких як С, Р, Вітаміни групи В, К, Е, провітамін А тощо. Вітаміни С, Р і флавоноїди беруть участь в окисно-відновних процесах в клітинах і мають антиоксидантні властивості. Вітамін С захищає вітамін Р від окисного інактивування, а вітамін Р пригнічує дію аскорбатоксидази, оберігаючи вітамін С від окислення.

Плоди ківі та актинїдії використовують у виробництві ряду кисломолочних продуктів, у тому числі і кисломолочних напоїв. Такі продукти широко затребувані на споживчому ринку. Відомі плоди культурних сортів рослин роду Актинїдія – плоди ківі, належать до видів актинїдія китайська (*Actinidia chinensis*) або актинїдія делікатесна (*Actinidia deliciosa*). Плоди ківі значно більші, ніж інші види актинїдій, до 6–7 см в діаметрі. В даний час ківі вирощують у багатьох країнах з субтропічним кліматом, особливо широко – в Китаї, Італії, Новій Зеландії, Чилі, Греції. Крім наземних рослин у виробництві кисломолочних напоїв перспективним сировиною є морські водорості, які мають суттєву перевагу: вони виростають в умовах, де вміст мінеральних поживних речовин безперервно відновлюється, в зв'язку з чим, водорості мають здатність накопичувати в кілька разів більше біологічно активних речовин, ніж їх міститься в морській воді. Так, ламінарію японську застосовують при виготовленні збагаченого кефіру. Кефір з внесеною сухою ламінарією характеризується високим вмістом йоду, а проведені наукові дослідження дозволяють рекомендувати його для профілактики йодної недостатності. Відомо про технології отримання пробіотичного кисломолочного продукту з подрібненої сушеної ламінарії і продуктом її переробки – ламиналов. В молоко перед закваскою вносили 0,2% подрібненої ламінарії японської або 5% ламиналов, додавали сік фруктової, цукор, а також загущувач у вигляді казеїнату натрію. Підготовлену молочну суміш квасять з використанням термофільних молочнокислих стрептококів і концентрату лактобактерій при температурі 37 °С. Вживання морських водоростей сприяє виведенню з організму радіоактивних елементів, токсинів, шлаків і радіоактивних солей, сприяє активізації імунобіологічної захисту організму від шкідливих впливів навколишнього середовища, підсилює лікувальний ефект при онкологічних, серцево-судинних захворюваннях і заповнює вітамінно-мінеральну недостатність.

Першочерговим завданням було вивчити асортимент функціональних кисломолочних продуктів, визначити якісних показників всіх зразків напоїв «Айран» різних торговельних марок, що представлені на ринку Херсонської області, обрати зразок із високими якісними показниками, який в подальшому буде обраний в якості основи для розробки кисломолочного функціонального напою. В результаті дослідження застосовували такі дослідні зразки напоїв: напій кисломолочний «Айран» 1% жирність торговельної марки «Лісова казка» виробник ПАТ «Ічнянський завод сухого молока та масла» (м. Ічня, Чернігівська обл., Україна); напій кисломолочний «Айран» 2% жиру торговельної марки М «Яготинське»

ГК «Молочний альянс» (Київ, Україна). Як об'єкт дослідження використовували виготовлений зразок кисломолочного функціонального продукту – айрану. Для виготовлення айрану використовували молоко коров'яче пастеризоване (ДСТУ 2661:2010 Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови), промислову закваску Italcas, воду питну (ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості) та сіль харчову (ДСТУ 3583-97 Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою).

Дослідні зразки кисломолочного функціонального продукту айрану були виготовлені за такою принциповою технологічною схемою виробництва:

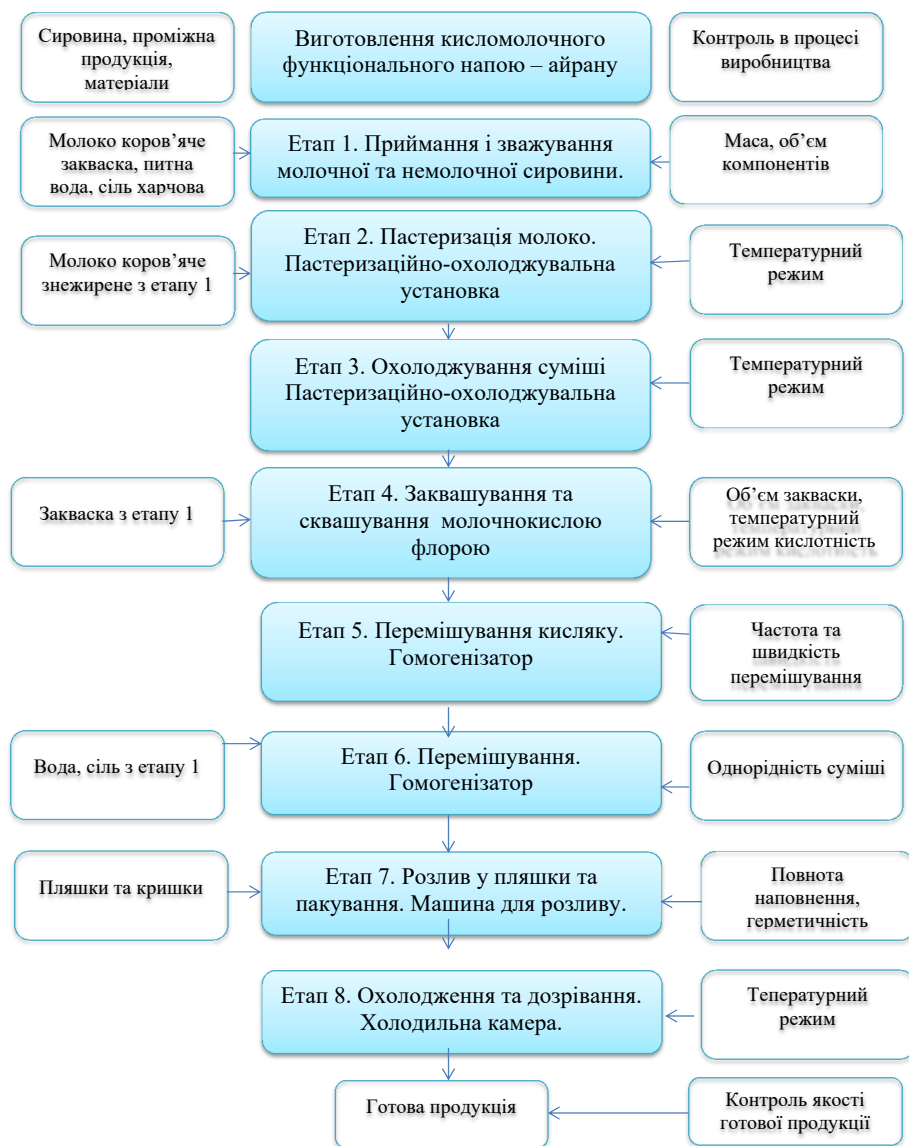


Рис. 1. Технологія виробництва функціонального кисломолочного напою «Айран»

- охолодження молока до (35–45) °С;
- заквашування закваскою в кількості 5%; перемішування суміші і сквашування до кислотності (185–190) °Т;
- додавання солі, перемішування до однорідної консистенції;
- змішування солоного згустку з пастеризованою питною водою;
- розлив при поступовому перемішуванні у тару;
- дозрівання (тривалість 24 год при температурі 6 °С).

Принципова технологічна схема виробництва кисломолочного функціонального продукту – айрану наведена на рис. 1.

Висновки і пропозиції. Функціональні кисломолочні напої це продукти збагачені біологічно активними речовинами, рослинними білками, мінеральними речовинами, вітамінами, харчовими волокнами, поліфенолами та рослинними оліями. Кисломолочні напої, як відомо сприяють підвищенню імунітету організму, нормалізують роботу кишечника, активізують обмінні процеси, мають високі харчові, дієтичні та лікувальні властивості. Разом з тим, актуальним залишається питання про використання добавок рослинного походження у виробництві кефіру. Адже, саме ці компоненти містять значну кількість біологічно-активних речовин, вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дідух Г. В. Рекомендації щодо використання екстракту шипшини у виробництві молочних геропродуктів. Одеса: Наук. Праці ОНАХТ. 2003. С. 109–113
2. Усатюк С. І., Корольок Т. А., Вознюк А. В., Демчина Г. Л. Кисломолочні напої з наповнювачем з пророщеного жита. Харчовапромисловість. 2012. No 13. С. 28–30.
3. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M.M. Bradford // *Analit. Biochem.* 1976. Vol. 72, No 2. P. 248–254.
4. Picard C. Review article: bifidobacteria as probiotic agents – physiological effects and clinical benefits / C. Picard // *Alimentary Pharmacology & Therapeutics.* 2005. Vol. 22. P. 495–512.
5. Roos K. The use of probiotics in head and neck infections / K. Roos, S. Holm // *Current Infectious Disease Reports.* 2002. Vol. 4. P. 211–216.

REFERENCES:

1. Didukh G. V. (2003). Rekomendatsiyi shchodo vykorystannya ekstraktu shypshyny u vyrobnytstvi molochnykh heroproduktiv [Recommendations for the use of rosehip extract in the production of dairy geroproducts]. *Nauk. Pratsi ONAKHT.* [Nauk. Labor ONAFT]. Odesa. P. 109–113. [in Ukrainian].
2. Usatyuk S. I., Korolyuk T. A., Voznyuk A. V., Demchina G. L. (2012). Kyslomolochni napoyi z napovnyuvachem z proroshchenoho zhyta. [Fermented milk drinks filled with sprouted rye]. *Kharchova promyslovist'.* [Food industry]. No. 13. P. 28–30. [in Ukrainian].
3. Bradford M. M. (1976) A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M.M. Bradford // *Analit. Biochem.* Vol. 72, No 2. P. 248–254.
4. Picard C. (2005) Review article: bifidobacteria as probiotic agents – physiological effects and clinical benefits / C. Picard // *Alimentary Pharmacology & Therapeutics.* Vol. 22. P. 495–512.
5. Roos K. (2002) The use of probiotics in head and neck infections / K. Roos, S. Holm // *Current Infectious Disease Reports.* Vol. 4. P. 211–216.

УДК 664.641.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.18>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА БЕЗСОЛЬОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Резвих Н. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

Масюткін Р. А. – магістрант II курсу біолого-технологічного факультету
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0003-2854-267X

Гладун В. В. – магістрант II курсу біолого-технологічного факультету
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0008-2880-3303

Стаття присвячена важливому питанню прогнозування зміни якісних характеристик хлібобулочних виробів у зв'язку з модифікацією класичного складу продукції, а саме відсутністю у них харчової солі. Визначено п'ять аспектів, на які впливає хлорид натрію: активність дріжджів, міцність клейковини, термін придатності, колір скоринки та смакові якості. У результаті опрацювання доступних літературних джерел визначені технологічні шляхи, які дозволять компенсувати або мінімізувати відсутність солі у виробках спеціального дієтичного призначення. Найперше необхідно експериментально визначити оптимальний час зброджування, що таким чином вплине на зовнішній вигляд виробів. Через слабку клейковину варто проводити делікатне формування заготовок для попередження низької пористості м'якуша.

Для отримання продукції з високими органолептичними якостями необхідно у рецептуру включити пряні трави та/або замітники харчової солі. Додатково визначено номенклатуру речовин, які можна використати у харчовому виробництві. Також необхідно у процесі випікання здійснювати розпилення водою над поверхнею заготовок для отримання більш інтенсивного забарвлення скоринки.

Термін придатності за вимогою замовника можна подовжити шляхом застосування спеціальних харчових добавок оскільки протягом доби, тобто гарантованого терміну придатності, такі хлібобулочні вироби встигнуть реалізуватись.

Проведені наукові пошуки є основою для проведення експериментальних досліджень з розробки технологічної схеми та оптимізації процесів виробництва безсольових хлібобулочних виробів дієтичного призначення для осіб, які мають захворювання нирок, гіпертонію або знаходяться на гормонотерапії. Отримані дані важливі для прогнозування результатів технологічних операцій та передбачають попередження отримання негативних результатів у виробленні вказаного виду продукції.

Ключові слова: хлібобулочні вироби, безсольова продукція, дієтичне призначення, технологічні процеси.

Rezvykh N. I., Masiutkin R. A., Gludun V. V. Study of the technological features of the production of salt-free bread products

The article is devoted to the important issue of predicting changes in the quality characteristics of bakery products in connection with the modification of the classic composition of products, namely the absence of salt in them. Five aspects have been identified that are affected by sodium chloride: yeast activity, gluten strength, shelf life, crust color and flavor. As a result of processing the available literary sources, technological ways have been determined that will allow to compensate or minimize the lack of salt in products for special dietary purposes. First of all, it is necessary to experimentally determine the optimal fermentation time, which will thus affect

the appearance of the products. Due to the weak gluten, it is necessary to carry out delicate formation of the blanks to prevent low porosity of the crumb.

In order to obtain products with high organoleptic qualities, it is necessary to include spicy herbs and/or salt substitutes in the recipe. Additionally, the nomenclature of substances that can be used in food production is defined. It is also necessary during the baking process to spray water over the surface of the workpieces to obtain a more intense color of the crust.

At the customer's request, the shelf life can be extended by using special food additives, since such bakery products will be sold within a day, i.e., the guaranteed shelf life.

The conducted scientific research is the basis for conducting experimental studies on the development of a technological scheme and optimization of the production processes of salt-free bakery products for dietary purposes for people who have kidney disease, hypertension or are on hormone therapy. The obtained data are important for forecasting the results of technological operations and provide for the prevention of negative results in the production of the specified type of products.

Key words: *bakery products, salt-free products, dietary purpose, technological processes.*

Вступ. Класичні рецептури хлібобулочних виробів розроблені з метою отримання якісного продукту з високими технологічними та смако-ароматичними властивостями. При розробці нових асортиментів та зміни складу можуть виникнути відмінні від контрольних зразків результати. Тому вивчення технологічних особливостей виробництва безсолівого асортименту дозволить передбачити та попередити зміну якісних показників.

Постановка проблеми. Використання солі у рецептурі хлібобулочних виробів несе у собі низки функціональних властивостей. Завдяки ній відбувається контроль росту дріжджів, зміцнення клейковини, покращується колір скоринки та ін. Тому відмова від додавання харчової солі може спричинити зміну текстури та пористості м'якуша, зменшення зовнішньої привабливості продукту та відсутності смаку. Ось чому необхідно вивчити всі технологічні нюанси виробництва хліба перед створенням пробних зразків та визначити які фактори та методи допоможуть уникнути негативного результату.

Мета дослідження. Метою статті є визначення шляхів покращення основних якісних характеристик хлібобулочних виробів дієтичного призначення у результаті відсутності в них харчової солі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання поліпшення раціону харчування шляхом споживання функціональних безсолівих продуктів досліджували Науменко О.В., Полонська Т.А. та Гетьман І.А. [1]. Кузьо Н.Є., Косар Н.С. та Пагута М.Г. визначили хліб без солі як один з пріоритетних напрямків розвитку інноваційних технологій та товарів на підприємстві [2]. При цьому Білецька Я.О. визначила, що 5% споживних переваг отримали такі спеціальні дієтичні хлібобулочні вироби [3], а Цирульнікова В.В. узагальнила, що хлібобулочні вироби функціонального призначення без солі сприяють нормалізації фізіологічних функцій [4].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення необхідних дій, що спрямовані на поліпшення якісних характеристик безсолівих хлібобулочних виробів, необхідно визначити основні відхилення та дефекти у виробництві та готовій продукції. У результаті опрацювання доступних літературних джерел визначено наступні аспекти виробництва (рис. 1).

Так, сіль діє як інгібітор дріжджів, що означає, що вона сповільнює ріст і розмноження дріжджів у тісті. Без хлориду натрію, який стримує їхню активність, дріжджі дичавіють, перероблюють весь наявний цукор через ферментативну активність. Додавання харчової солі запобігає надшвидкому їх розмноженню, таким чином дозволяючи контролювати швидкість бродіння. Це може бути

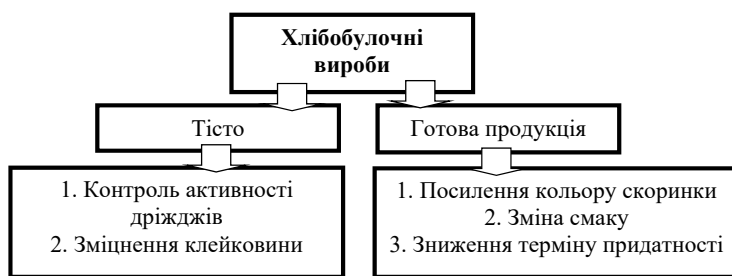


Рис. 1. Функції хлориду натрію у хлібобулочних виробах

добрі рішення у технологічному сенсі, адже можна отримати після процесу розстоювання легший і пухкіший хліб. Проте надмірна активність призводить до одержання липкого тіста, з яким важко працювати та формувати [5].

З іншого боку при додаванні в тісто для хліба сіль стягує утворені нитки клейковини, що робить їх міцнішими. Зміцнюючи, хлорид натрію дозволяє тісту ефективніше утримувати вуглекислий газ. Ця здатність важлива, оскільки діоксид вуглецю є побічним продуктом бродіння. Якщо нитки клейковини не міцні, тісто не здатне добре утримувати вуглекислий газ; в результаті тісто вийде дуже в'ялим. Як наслідок, його дуже важко формувати, а отриманий хліб має низький об'єм [6].

Хлібобулочні вироби отримують свій колір скоринки через залишки цукру в тісті, який присутній після того, як крохмаль у борошні перетворюється на прості цукри за допомогою ферментів амілази. Поки хліб випікається, залишки цукру на зовнішній стороні карамелізуються, надаючи колір скоринці.

Але якщо немає солі, щоб зменшити активність дріжджів, дріжджі поглинають увесь залишковий цукор у тісті. Без нього для карамелізації під час випікання скоринка хліба вийде блідою та тьмяною, а не ідеально підсмаженою, яку зазвичай обирають споживачі.

Більше того, чим повільніший темп бродіння, тим більше смакових ноток створюється в продукції, що призводить до кращого загального смаку кінцевої хлібобулочної продукції. На додаток як і майже всьому, що ми їмо, сіль надає хлібу смаку. Без хлориду натрію органолептичні якості будуть низькі, оскільки буде наявний прісний присмак [5–6].

Додатково хлорид натрію є природним консервантом, який дозволяє подовжити термін придатності хлібобулочних виробів. Так, зазвичай він може складати не більше 72 годин у випадку наявності пакування. Проте без харчової солі продукція має реалізуватись упродовж 24 годин.

Враховуючи перераховані вище проблеми, які в технологічному сенсі ускладнюють процес виробництва дієтичного хліба без солі, необхідно знайти прості та водночас нові рішення щодо їх усунення. Найпростішим шляхом контролю активності дріжджів є визначення оптимального часу зброджування експериментальним шляхом задля отримання продукту з гарною пористістю м'якуша та попередження отримання дефекту гливого тіста. Водночас це дозволить контролювати кількість простих цукрів задля отримання привабливого зовнішнього вигляду. Додатково необхідно проводити делікатне формування для зменшення виходу утвореного вуглекислого газу. Крім того, додатково під час випікання тіста можна здійснювати розпилення водою, щоб отримати приємну рум'яну скоринку без солі.

Для отримання належних смакових якостей можна застосувати один з наступних прийомів. Перший метод передбачає заміну натрію іншими речовинами, такими як хлорид магнію, хлорид кальцію або хлорид калію. Це один із найбільш часто використовуваних технік у промисловості, але його можна використовувати лише до певного моменту, перш ніж буде відчутним металевий присмак від цих сполук. Тобто необхідно експериментально визначити дозування аби не перевищити норму [7–8].

Так, замітники кухонної солі є мінеральними композиціями зі зниженим вмістом натрію хлориду або без нього. Вони близькі за смаком до кухонної солі і призначені для додавання до готових страв за показаннями на обмеження кухонної солі. До них належать такі препарати, як Co-Salt, Diasal, Morton Lite-salt (США), Pansalt (Фінляндія), Seresol (Великобританія), Санасол (Україна) та ін. Тип замітника визначає лікар та залежить від основної мети, а саме лікувальної, лікувально-профілактичної або дієтичної [9]. Тим не менш деякі виробництва пропонують застосовувати споживачам у домашньому використанні спеціальні суміші без вмісту натрію [10].

Наступний метод передбачає модифікацію смаку за допомогою підсилювачів смаку, таких як трави та спеції, або навіть глутамат натрію. Дослідники відзначають, що багатозерновий хліб також дозволяє зменшити кількість солі більше, ніж білий хліб, оскільки він сам по собі має більше смаку. Дунтеман і Лі дійшли висновку, що найкращим підходом до зменшення вмісту натрію в хлібі буде поєднання різних методів [7]. Зокрема можна використовувати трави або спеції аби посилити смак. Свіжий нарізаний розмарин або кмін є дуже традиційним способом додати смаку, але варіанти у цьому випадку нескінченні та потребують подальших експериментальних досліджень.

Висновки і пропозиції. Визначено п'ять основних функцій хлориду натрію під час вироблення хлібобулочних виробів. Задля отримання продукції спеціального дієтичного спрямування без солі необхідно експериментально визначити оптимальний час збродження, що таким чином вплине на зовнішній вигляд виробів. Додатково варто проводити делікатне формування заготовок для попередження надмірного вивільнення вуглекислого газу, що призведе до низької пористості м'якуша. Для забезпечення високих смакових якостей необхідно у рецептуру включити пряні трави та/або замітники харчової солі, а у процесі випікання здійснювати розпилення водою над поверхнею заготовок для отримання більш інтенсивного забарвлення скоринки. Термін придатності, за необхідністю, можна подовжити шляхом застосування спеціальних харчових добавок, хоча це не обов'язково, оскільки протягом доби такі хлібобулочні вироби можуть реалізуватись.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Науменко О.В., Полонська Т.А., Гетьман, І.А. Функціональні інгредієнти в хлібобулочній продукції. *Продовольчі ресурси*. 2021. № 9(16). С. 135–143.
2. Кузьо Н.С., Косар Н.С., Пагула, М.Г. Дослідження ринку хліба та хлібобулочних виробів України та обґрунтування товарних інновацій виробників на ньому. *Економіка і суспільство*. 2017. № 12. С. 284–291.
3. Білецька Я.О. Вивчення споживчих мотивацій під час розроблення хлібобулочних виробів спеціального дієтичного призначення. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді*: матер. XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю, м. Одеса, 03–05 жовт. 2019 р. Одеса. С. 92.
4. Різник А.О., Сильчук Т.А., Цирульнікова В.В. Ключові аспекти розширення асортименту хлібних виробів функціонального призначення. *Наука, інновації*

та підприємництво: матер. II міжнар. Симпозіуму студ. і мол. вчених, м. Київ, 14 травня 2021 р. Київ. С. 10–11.

5. Why is salt important in yeast bread. Baking company King Arthur: web site. URL: <https://www.kingarthurbaking.com/blog/2020/07/29/why-is-salt-important-in-yeast-bread>

6. El Ati J., Doggui R., El Ati-Hellal M. A successful pilot experiment of salt reduction in tunisian bread: 35% gradual decrease of salt content without detection by consumers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. № 18(4), P. 1590.

7. Dunteman A., Yang Y., McKenzie E., Lee Y., Lee S.-Y. Sodium reduction technologies applied to bread products and their impact on sensory properties: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. URL: <https://aces.illinois.edu/news/reducing-salt-bread-without-sacrificing-taste>

8. Nahar N., Madzuki I., Izzah N., Ab Karim M., Ghazali H., Karim, R. Bakery science of bread and the effect of salt reduction on quality: A review. *Borneo J. Sci. Technol.* 2019. № 1, P. 9–14.

9. Замінники кухонної солі. Фармацевтична енциклопедія: веб-сайт. URL: <https://www.pharmacyclopedia.com.ua/article/1554/zaminniki-kuxonnoi-soli>

10. No Salt Sodium. Free Salt Alternative. EBAU: web site. URL: <https://www.ebay.com/itm/373487137473>

REFERENCES:

1. Naumenko O. V., Polonska T. A., & Hetman, I. A. (2021). Functional ingredients in bread baking. *Food Resources*, 9(16), 135–143. [in Ukrainian]

2. Kuzio N. E., Kosar N. S., & Paguta, M. G. (2017). Research of the market of bread and bakery products of Ukraine and justification of product innovations of producers on it. *Economy and Society*, 12, 284–291. [in Ukrainian]

3. Biletska Ya. O. (2019). Study of consumer motivations during the development of bakery products for special dietary purposes. Problems of forming a healthy lifestyle among young people: Mater. XII All-Ukrainian science and practice conf. young scientists and students from international participation, Odesa, October 03–05 2019. Odesa. P. 92. [in Ukrainian]

4. Riznyk A. O., Silchuk T. A., & Tsyrunnikova V. V. (2021). Key aspects of expanding the range of functional bread products. Science, innovation and entrepreneurship: Mater. II International Symposium of students. and minor of scientists, Kyiv, May 14, 2021. Kyiv. P. 10–11. [in Ukrainian]

5. Why is salt important in yeast bread. Baking company King Arthur: web site. URL: <https://www.kingarthurbaking.com/blog/2020/07/29/why-is-salt-important-in-yeast-bread> [in English]

6. El Ati, J., Doggui, R., & El Ati-Hellal, M. (2021). A successful pilot experiment of salt reduction in tunisian bread: 35% gradual decrease of salt content without detection by consumers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1590. [in English]

7. Dunteman A., Yang Y., McKenzie E., Lee Y., & Lee S.-Y. Sodium reduction technologies applied to bread products and their impact on sensory properties: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. URL: <https://aces.illinois.edu/news/reducing-salt-bread-without-taste> [in English]

8. Nahar, N., Madzuki, I., Izzah, N., Ab Karim, M., Ghazali, H., & Karim, R. (2019). Bakery science of bread and the effect of salt reduction on quality: A review. *Borneo J. Sci. Technol.*, 1, 9–14. [in English]

9. Замінники кухонної солі. Фармацевтична енциклопедія: веб-сайт. URL: <https://www.pharmacyclopedia.com.ua/article/1554/zaminniki-kuxonnoi-soli> [in Ukrainian]

10. No Salt Sodium. Free Salt Alternative. EBAU: web site. URL: <https://www.ebay.com/itm/373487137473> [in English]

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION,
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 614.7+628.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.19>

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕННЯ МІСТА КРОПИВНИЦЬКИЙ

Кравченко В. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-2245-7194
Web of Science Researcher ID: GQQ-2577-2022

Білоус Ю. В. – головний технолог
Обласного комунального виробничого підприємства «Дніпро-Кіровоград»
ORCID ID: 0009-0009-6083-8810

Ключовою проблемою у питаннях забезпечення якісною питною водою населення та удосконалення діючих очисних споруд населених пунктів України залишається підвищення ступеню очищення стічних вод від забруднюючих елементів, зокрема азоту і фосфору, які викликають процес евтрофікації водойм. З метою визначення ефективності функціонування каналізаційних очисних споруд (КОС) міста Кропивницький після їх реконструкції (березень 2023) для глибокої очистки біогенних речовин, проведено дослідження по впливу очищених стічних вод на фізико-хімічні характеристики річки Інгул. Дослідження проводилися з січня по серпень шляхом відбору двох проб води з річки – вище та нижче за течією від міста, куди виходить трубопровід скиду очищених стічних вод з міських очисних споруд. Результати досліджень показали, що абсолютна більшість досліджених параметрів води з р. Інгул не виходить за межі граничнодопустимих скидів (ГДС). На відміну від попередніх років, показники очистки по біогенним речовинам знаходяться у цих межах навіть у теплий період року. Перевищення значень гранично допустимих концентрацій (ГДК) сульфатів і хлоридів пояснюється природним фоном річки Інгул, що підтверджується багаторічними спостереженнями. З метою визначення реальної ефективності очистки стічних вод на КОС після їх реконструкції, проведено хімічний аналіз проб води на вході очисних споруд та на виході з біоставків. Визначено, що перевищення норм ГДС спостерігалось у літній місяць тільки по фосфатам на 6%, але в цілому їх кількість та азоту амонійного на виході з біоставків зменшилась відповідно на 13% та 28%, що позитивно позначилося на цих показниках у річці. Результати досліджень довели доцільність та ефективність проведеної реконструкції КОС м. Кропивницький для глибокого очищення біогенних речовин.

Ключові слова: стічні води, біогенні елементи, фізико-хімічні параметри, каналізаційні очисні споруди, ефективність функціонування.

Kravchenko V. I., Bilous Yu. V. Efficiency of work of water distribution facilities city of Kropyvnytsky

The key problem in providing the population with high-quality drinking water and improving existing wastewater treatment facilities in the settlements of Ukraine remains the improvement of the degree of purification of wastewater from polluting elements, in particular nitrogen and phosphorus, which cause the process of eutrophication of water bodies. In order to determine the effectiveness of the functioning of sewage treatment plants (STP) in the city of Kropyvnytsky after their reconstruction for deep cleaning of biogenic substances, a study was conducted on the effect of treated wastewater on the physicochemical characteristics of the Ingul River. The research was conducted from January to August by taking two samples of water from the river – upstream and downstream from the point where the discharge pipeline of treated wastewater from the city's sewage treatment plant exits. The results of the research showed that the absolute majority of the studied water parameters from the Ingul River do not exceed the limit of permissible discharges (LPDs). In contrast to previous years, the indicators of purification for biogenic substances are within these limits even in the warm period of the year. Exceeding the maximum allowable concentrations (MPC) of sulfates and chlorides is explained by the natural background of the Ingul River, which is confirmed by long-term observations. In order to determine the real efficiency of wastewater treatment at the (STP) after its reconstruction, a chemical analysis of water samples at the entrance to the treatment facilities and at the exit from the bioponds was carried out. It was determined that the exceedance of LPDs norms was observed in the summer month only for phosphates by 6%, but in general their amount and ammonium nitrogen at the exit from bioponds decreased by 13% and 28%, respectively, which had a positive effect on these indicators in the river. The research results proved the expediency and effectiveness of the reconstruction of the Kropyvnytskyi wastewater treatment plant for deep purification of biogenic substances.

***Key words:** wastewater, biogenic elements, physical and chemical parameters, sewage treatment plants, efficiency of functioning.*

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямків діяльності водоканалів є захист природних водойм від забруднення. Основними джерелами хімічного та бактеріологічного їх забруднення є скиди промислових підприємств, поверхневі зливи з територій населених пунктів та сільськогосподарських угідь, техногенні аварії тощо.

Не менш небезпечними для екологічного та санітарного стану водойм є побутові комунальні стоки, які часто надходять з населених пунктів до річок у недостатньо очищеному стані. Як свідчить практика, такі стоки містять значну кількість біогенних речовин, що найбільш активно беруть участь у життєдіяльності водних організмів, а саме: вуглець, азот, фосфор і калій. При очищенні стічних вод найбільша увага приділяється видаленню азоту і фосфору, оскільки традиційна біологічна очистка не забезпечує достатньої глибини їх видалення. Так, при механічному очищенні вміст азоту і фосфору знижується на 8–10%, а при біологічному – на 35–50% [1].

Необхідність видалення біогенних елементів із стічних вод полягає у тому, що з'єднання азоту і фосфору викликають процес евтрофікації водойм, тобто зростання біологічної рослинності водойм. Він супроводжується надмірним розвитком водоростей, особливо зелених та синьо-зелених, переважанням небажаних видів планктону і порушенням життєдіяльності риб. На загальну продуктивність водойм впливає кількість і характер сполук азоту та фосфору. Так, при сприятливих умовах 1 мг азоту продукує 20–25 мг водоростей, 1 мг фосфору – 40–250 мг [2]. Крім того, наявність сполук фосфору і азоту викликає біологічне обростання трубопроводів, колекторів та іншого каналізаційного обладнання, а присутність амонійного азоту, нітритів і нітратів призводить до розвитку корозійних процесів.

Також останніми роками у комунальні побутові стоки все більше потрапляє синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), серед яких значну частку складають аніонні (АПАР), що зокрема використовують у побуті для прання та

миття. Вміст таких речовин сприяє утворенню піни на поверхні відкритих водойм, що ускладнює доступ атмосферного кисню водним організмам і призводить до їх заморю і загибелі.

Відомо, що захист довкілля від зазначених негативних чинників покладено на каналізаційні очисні споруди (КОС), які споруджено у населених пунктах. Від ефективності їх роботи залежить стан прилеглих водойм, у які відводяться очищені стічні води. Сучасний загальний технічний стан інженерних мереж та споруд станцій очистки стічних вод не відповідає сучасним вимогам [1]. Зношення основних фондів очисних станцій перевищує 70%, а технології очистки стічних вод на переважній більшості споруд відповідають нормативним вимогам кінця минулого сторіччя. Тому докорінної реконструкції і модернізації потребує вся галузь, пов'язана з водовідведенням.

Ефективність роботи КОС визначається за реальними результатами їх роботи, які позначаються на чистоті водойми, куди відводяться очищені стічні води. Такими результатами є фізико-хімічні показники води водойм, як найбільш надійний спосіб оцінювання ефективності роботи КОС.

Отже визначення рівня захищеності водойми певного регіону від шкідливого впливу населеного пункту шляхом кількісного порівняння фактичних значень фізичних, фізико-хімічних та інших параметрів природних вод із максимально допустимими значеннями є важливою науково-прикладною задачею.

Виклад основного матеріалу. Система водовідведення населених пунктів є складним комплексом споруд та засобів, експлуатація яких потребує систематичного проведення технічних, економічних та організаційних заходів. Від вчасного та ефективного розв'язання задач, пов'язаних з їх проведенням, залежить нормальне життя населення та благоустрій міст. З часом будь-яка налагоджена система каналізації з часом перестає забезпечувати потреби споживачів, які постійно зростають.

Перша черга комплексу міської каналізації м. Кропивницький, потужністю 30 тис.м³/добу, була введена в експлуатацію в 1974 році у складі: камера приймання стоків, відділення решіток, піскоуловлювачі, первинні відстійники, вторинні відстійники, аеротенки, повітродувно-насосна станція, піскові та мулові майданчики.

Таке застаріле, енергоємне технологічне обладнання не давало можливості забезпечити якість очистки стічних вод до нормативних вимог по скиду їх у водойму. Так, в стічних водах значення ГДК на виході з очисних споруд перевищували у середньому норми ГДС по БСК₅ на 32%, по фосфатам на 40% і по азоту амонійному на 39%.

Система водовідведення м. Кропивницького, яка складається з самопливних колекторів, каналізаційних насосних станцій та напірних трубопроводів, являє собою неповнороздільну систему каналізації, що приймає на себе всі господарсько-побутові стоки. Вони подаються на очисні споруди, де проходять повний цикл очищення з подальшим відведенням очищеної води у річку Інгул. Така практика використовується у більшості країн світу [3].

Для підвищення ефективності очистки стічних вод в ОКВП «Дніпро-Кіровоград» було розроблено та реалізовано проект реконструкції КОС у м. Кропивницький, відповідно до якого виконано наступні роботи:

- реконструкція будівлі решіток;
- реконструкція пісколовків;
- реконструкція насосної станції первинних відстійників;

- реконструкція первинних відстійників;
- реконструкція аеротенків та вторинних відстійників;
- будівництво нової будівлі насосної станції з повітродувним обладнанням;
- будівництво нової станції знезараження гіпохлоритом натрію;
- влаштування станції дозування коагулянту для видалення фосфору.

Метою даного дослідження було визначення ефективності функціонування КОС м. Кропивницький після реконструкції з проведенням фізико-хімічного аналізу проб води з р. Інгул та вплив на водойму очищених стічних вод.

Для досягнення зазначеної мети на очисних спорудах м. Кропивницький були виділені наступні технологічні вузли очищення стічних вод (рис. 1):

- вузол механічного очищення (будівля решіток, пісколовки, первинні відстійники);
- вузол біологічного очищення (біореактор, вторинні відстійники);
- вузол знезараження очищених стічних вод (гіпохлоритом натрію);
- вузол реагентного видалення фосфору (процес коагуляції);
- комплекс обробки й зневоднення осаду.

Ефективна робота всього комплексу визначається, насамперед, механічним очищенням стічних вод від нерозчинних у воді мінеральних і органічних речовин. Механічним очищенням вилучаються мінеральні компоненти стічних вод і з найбільшою ефективністю проходить біологічне очищення.

Найбільш відповідальним моментом в очищенні стічних вод є споруди, що забезпечують технологію біологічного очищення, в яких відбувається основне вилучення біогенних елементів і органічних забруднюючих домішок. Технологічна схема передбачає глибоке біологічне очищення стічних вод від сполук переважно азоту та фосфору.

З метою підтримання епідеміологічної безпеки проводять знезараження стічних вод перед їх скидом у водойму. Комплекс обробки осаду, що утворюється в процесі очищення стічних вод, зменшує його обсяг до такого стану, який дає можливість розміщувати його на мулових майданчиках і займати в рази менші площі складування.

Після здійснення описаних вище операцій, очищені стічні води м. Кропивницький скидаються на біологічні ставки для доочистки, а потім у річку Інгул.

На протязі 3-х кварталів 2023 року з р. Інгул поблизу виходу зливних труб КОС м. Кропивницький відбиралися 2 проби води:

- пр. № 1 – 500 м вище за течією від місця скиду очищених стічних вод;
- пр. № 2 – більше 500 м нижче за течією.

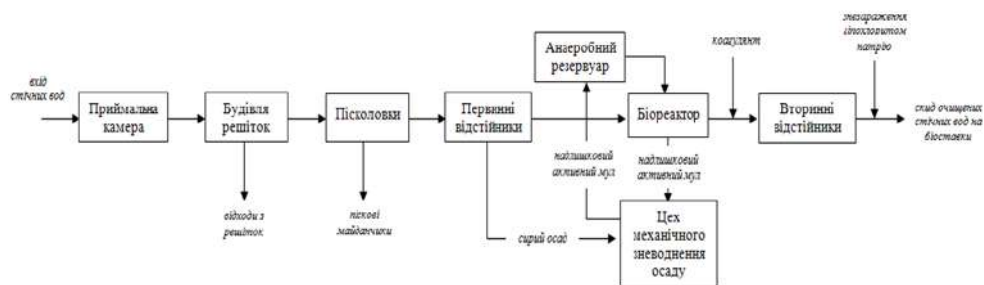


Рис. 1. Принципова схема технології очищення та обробки осадів стічних вод

Зразки води відбирались за методикою об'єднаної усередненої проби: у кожній з точок на відстанях близько 1 м, 2 м і 3 м від берега відбирались окремі проби об'ємом 1,5 дм³, які перемішували між собою. Із отриманої суміші відбиралась робоча проба об'ємом 2,0 дм³, яка і була об'єктом лабораторного вивчення.

Для визначення повного комплексу фізико-хімічних показників відібрані проби води консервувались, відповідно до встановлених НД вимог, і доставлялись у лабораторію водовідведення Кропивницького ВКГ ОКВП «Дніпро – Кіровоград». Лабораторне вивчення фізико-хімічних параметрів відібраних проб води проводили згідно із методиками та відповідними КНД.

Числові значення відповідних параметрів проб, отримані в результаті їх лабораторного дослідження, піддавались стандартній статистичній обробці. Для кожного параметра, що визначався експериментально, проводилось не менше п'яти паралельних вимірювань. З них виводилась середня величина, абсолютне та стандартне відхилення, середня квадратична похибка.

Для порівняння експериментально отриманих значень фізико-хімічних параметрів з вимогами нормативних документів обрано значення показників гранично допустимих скидів (ГДС), які розроблені з метою отримання дозволу на спеціальне водокористування.

Лабораторно визначені числові значення фізико-хімічних показників зазначених двох проб річкової води наведено у таблиці 1. Для порівняння та наочного виявлення можливого перевищення забруднення окремих показників якості води на виході з біоставків відносно ГДС у таблиці 2 наведено відношення цих значень до значень відповідних ГДС.

Таблиця 1

Фізико-хімічні параметри проб води з річки Інгул, мг/дм³

№ з/п	Показник	ГДК, мг/дм ³	Січень		Квітень		Серпень	
			Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2	Проба 1	Проба 2
1	Прозорість	-	23,7	19,1	17,5	21,7	22,35	22,33
2	рН	-	7,66	7,49	7,86	7,76	7,86	7,82
3	Завислі речовини	15	8,92	12,52	14,8	13,03	10,33	10,63
4	Сухий залишок	822,9	948,2	845,4	908,6	863,6	1080,9	847,7
5	Сульфати	112	250,7	246,2	256,6	252,3	309,5	228,2
6	Хлориди	111	124,4	121,9	116,2	109,7	150,2	123,6
7	БСК ₅	15	4,8	8,9	5,23	5,06	5,1	6,0
8	ХСК	80	27,7	33,0	44,2	42,6	39,2	37,1
9	Азот амонійний	2,0	0,34	0,50	0,24	0,14	0,12	0,21
10	Нітрити	2,73	0,09	0,15	0,12	0,12	0,66	0,54
11	Нітрати	45	10,9	10,7	4,25	6,79	19,76	16,31
12	Фосфати	3,5	1,59	2,5	0,32	0,74	0,77	1,71
13	Нафтопродукти	0,3	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05
14	Залізо загальне	0,3	0,25	0,24	0,26	0,25	0,21	0,25
15	АПАР	0,21	0,05	0,05	0,063	0,069	0,06	0,06

Таблиця 2

**Перевищення забруднення окремих показників якості води на виході
з біоставків відносно ГДС**

№ з/п	Показник	ГДС	Січень		Квітень		Серпень	
			Вихід	Вихід/ ГДС	Вихід	Вихід/ ГДС	Вихід	Вихід/ ГДС
1	Завислі речовини	15	14,2	0,95	14,5	0,97	8,85	0,59
2	Сухий залишок	822,9	558,2	0,68	625	0,76	483,7	0,59
3	Сульфати	112	58,16	0,52	61,33	0,55	57,16	0,51
4	Хлориди	111	107,14	0,96	110,22	0,99	108,6	0,98
5	БСК ₅	15	14,96	0,99	10,95	0,73	11,76	0,78
6	ХСК	80	73,48	0,92	66,4	0,83	65,12	0,81
7	Азот амонійний	2,0	1,97	0,98	2,32	1,16	1,43	0,72
8	Нітрити	2,73	0,51	0,19	0,285	0,1	0,69	0,25
9	Нітрати	45	15,34	0,34	5,58	0,12	15,44	0,34
10	Фосфати	3,5	4,26	1,22	3,69	1,05	3,74	1,06
11	Нафто-продукти	0,3	0,053	0,18	0,041	0,14	0,077	0,26
12	Залізо загальне	0,3	0,298	0,99	0,37	1,23	0,273	0,91
13	АПАР	0,21	0,15	0,71	0,098	0,47	0,067	0,32

Для реального визначення ефективності очистки стічних вод на КОС м. Кропивницький, проведено хімічний аналіз проб води на вході до очисних споруд і на виході з біоставків. Результати таких досліджень представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

**Фізико-хімічні параметри проб води на вході до очисних споруд
і на виході з біоставків, мг/дм³**

№ з/п	Показник	Січень			Квітень			Серпень		
		Пр.2	Вхід	Вихід	Пр.2	Вхід	Вихід	Пр.2	Вхід	Вихід
1	Завислі речовини	12,52	329,9	14,2	13,0	209,9	10,3	10,6	218,8	8,85
2	Сульфати	246,2	64,4	58,16	252,3	66,8	61,1	228,2	63,7	57,2
3	Хлориди	121,9	121,7	107,1	109,7	127,5	110,6	123,6	138,0	108,6
4	БСК ₅	8,9	360,1	14,96	5,06	246,2	8,16	6,0	314,8	11,76
5	ХСК	33,02	865,2	73,48	42,6	648,6	62,9	37,1	855,7	65,1
6	Азот амонійний	0,50	49,23	1,97	0,14	56,3	1,44	0,21	75,3	1,43
7	Фосфати	2,50	31,58	4,26	0,74	25,1	3,41	1,71	28,7	3,74
8	Нафто-продукти	0,03	5,88	0,05	0,03	1,59	0,03	0,05	2,2	0,07
9	Залізо загальне	0,24	1,44	0,29	0,25	1,24	0,3	0,25	1,45	0,27
10	АПАР	0,05	1,38	0,15	0,07	2,16	0,07	0,06	1,82	0,07

Аналіз таблиці 1 показує, що абсолютна більшість досліджених параметрів води з р. Інгул не виходить за допустимі межі. Винятком є сульфати, вміст яких у 1-й і 2-й пробах перевищує ГДК більше ніж у два рази. Однак це пояснюється тим, що для України характерні територіальні особливості формування хімічного складу вод. Так, вміст показників сольового блоку, у тому числі і сульфатів, у деяких регіонах є значно більшим внаслідок природного формування складу вод, що також характерно для р. Інгул. Джерелом сульфатів є природні мінерали, через які проходить вода у процесі свого руху в природі.

Аналогічна ситуація спостерігається з перевищенням ГДК і для хлоридів. Концентрація хлоридів у річці Інгул зазвичай тримається у незначному перевищенні нормативних значень, але антропогенні чинники можуть призвести до значного їх перевищення.

З таблиці 2 видно, що після реконструкції аеротенків у стічних водах перевищення норм ГДС спостерігалось у літній місяць тільки по фосфатах на 6%, а значення по БСК₅ і по азоту амонійному не перевищували нормативні межі.

Вміст загального заліза перебуває близько до межі ГДС, однак це також пояснюється природним фоном річки, що підтверджується багаторічними спостереженнями. З таблиці 3 видно, що вміст заліза у воді на вході до очисних споруд значно (більше ніж у 4 рази) перевищує ГДС, що можливо пов'язано, зокрема, з незадовільним станом міської водопровідно-каналізаційної мережі, однак аналогічні значення скидів на виході з біоставків не перевищують нормативні.

З повідомлень щорічних звітів з 2020 року аналітичної лабораторії ОКВП «Дніпро-Кіровоград» значення амонійного азоту, нітратів, нітритів і фосфатів у літній період значно перевищували ГДС, у порівнянні із зимовими місяцями. Це пов'язано зі зміною температури води, що викликає зміну розчинності у ній кисню. У теплий період року фізіологічна активність мікроорганізмів звичайно підсилюється, розчинність кисню знижується, а у зимовий період – навпаки.

Результати досліджень довели доцільність та ефективність проведеної реконструкції аеротенків на КОС м. Кропивницький для глибокого очищення біогенних речовин, що можна спостерігати по сезонному підвищенні динаміки (з січня по серпень) ефективності очистки стоків. Так, кількість фосфатів та амонійного азоту на виході з біоставків у порівнянні з входом до очисних споруд зменшилась відповідно на 13% та 28%, що позитивно позначилося на цих показниках у річці. Такі показники свідчать про достатню ефективність роботи очисних споруд ОКВП «Дніпро-Кіровоград».

Висновки

1. Питання ефективного функціонування споруд очистки стічних вод, від яких залежить чистота відкритих водойм поблизу населених пунктів, залишається актуальним.

2. За лабораторно визначеним комплексом фізико-хімічних параметрів проб води з р. Інгул у місцях вище та нижче за течією поблизу виходу скиду очищених стічних вод з КОС м. Кропивницький оцінено ефективність їх роботи. Визначено, що з початку року (з січня по серпень) динаміка змін концентрації біогенних речовин-забруднювачів у р. Інгул після реконструкції аеротенків рухається до зменшення.

3. Загальну якість води у р. Інгул у місці нижче за течією після виходу скидних труб КОС м. Кропивницький можна вважати задовільною і стабільною. Визначені показники свідчать про ефективність проведеної реконструкції очисних споруд ОКВП «Дніпро-Кіровоград». На час дослідження вони функціонують у штатному режимі та забезпечують достатнє очищення стічних вод м. Кропивницький.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Доліна Л.Ф., Машихіна П.Б., Козачина В.А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с. <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/275c3765-e50f-4e89-8511-e58947e72f63/content>
2. Water Reality in Ukraine and Worldwide / L. Dolina, P. Mashykhina, A. Karpo, A. Mishchenko // Наука та прогрес транспорту. 2017. № 5 (71). С. 7–18. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_5_3
3. Qishlaqi A., Kordian S., Parsaie A. Hydrochemical evaluation of river water quality – a case study. *Applied Water Science*, 2017. No. 7. P. 2337–2342. DOI: 10.1007/s13201-016-0409-0.

REFERENCES:

1. Dolina, L.F., Mashykhina, P.B., Kozachyna, V.A. (2021) Rekonstruktsiia system vodopostachannia ta vodovidvedennia [Reconstruction of water supply and drainage systems]. Zhurfond Monohrafiia: Dnipro: 220 s <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/275c3765-e50f-4e89-8511-e58947e72f63/content> [in Ukrainian].
2. Water Reality in Ukraine and Worldwide / L. Dolina, P. Mashykhina, A. Karpo, A. Mishchenko (2017) // Science and progress of transport № 5 (71). Pp. 7–18. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_5_3 [in English].
3. Qishlaqi A., Kordian S., Parsaie A. (2017) Hydrochemical evaluation of river water quality – a case study. *Applied Water Science*, No. 7. P. 2337–2342. DOI: 10.1007/s13201-016-0409-0. [in English].

УДК 621.328(076.5)

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.20>

ПОКРАЩАННЯ ЗВОРОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВАРИКАПА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГЕТЕРУВАННЯ

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 – напівпровідниковий діод, робота якого заснована на залежності бар'єрної ємності р-п-переходу від зворотної напруги. Робота варикапа актуальна при перебудові частоти вузлів в електроапаратурі. Пристрої використовуються в частотозадавальних ланцюгах, оскільки дозволяють швидко і просто змінювати робочу частоту. Таке можливо, завдяки зміні ємності системи, яка змінюється при зміні керуючої напруги. Варикапи включені в схеми радіоприймачів і бездротових модулів для передачі даних, використовуються в пристроях, де задіяні частотозалежні ланцюги. Однак незважаючи на широке застосування, вартість варикапів залишається порівняно високою із-за низького виходу придатних варикапів, що пояснюється високим рівнем зворотного струму приладів. В статті розглянуті причини та механізми деградації зворотних характеристик високовольтного варикапа. Показано, що причиною низького виходу варикапів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів і сторонніх домішок та якості поверхні варикапних структур. Встановлено, що головною причиною низького відсотка виходу придатних досліджуваних варикапів є окислювальні дефекти упакування, що утворюються в активних областях варикапних структур в процесах проведення високо-температурних операцій, а також поверхневі ефекти за рахунок домішкових забруднень. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксialних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою імплантації в неї іонів фосфору. Детально розглянута запропонована технологія виготовлення структур варикапів з використанням двостороннього гетерування за допомогою імплантації іонів фосфору в зворотну сторону пластин та проведення додаткової дифузії бору в робочу сторону пластин. Наведено експериментальні результати дослідження впливу на зворотну характеристика варикапу двостороннього гетерування, а також проаналізовано можливі механізми цього впливу. Показана ефективність запропонованої технології з використанням гетерування щодо зниження рівня зворотних струмів і підвищення виходу придатних приладів.

Ключові слова: варикап, структурні дефекти, гетерування, окислювальні дефекти упакування, поверхневі ефекти, зворотний струм.

Lytvynenko V. M. Improvement of feedback characteristics of high voltage varicap using hetering

A varicap is a semiconductor diode whose operation is based on the dependence of the barrier capacitance of the p-n junction on the reverse voltage. The operation of the varicap is relevant when adjusting the frequency of nodes in electrical equipment. The devices are used in frequency-setting circuits, as they allow you to quickly and easily change the operating frequency. This is possible due to the change in system capacitance, which changes when the control voltage changes. Varicaps are included in the circuits of radio receivers and wireless modules for data transmission, used in devices where frequency-dependent circuits are involved. However, despite the wide application, the cost of varicaps remains relatively high due to the low yield of suitable varicaps, which is explained by the high level of reverse current of the devices. The article discusses the causes and mechanisms of degradation of the reverse characteristics of the high-voltage varicap. It is shown that the reason for the low yield of varicaps is the significant influence on their reverse characteristics of structural defects and foreign impurities and the quality of the surface of varicap structures. It was established that the main reason for the low yield percentage of suitable investigated varicaps is the oxidation defects of the packaging, which are formed in the active regions of the varicap structures in the processes of high-temperature

operations, as well as surface effects due to impurities. 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 implanting phosphorus ions into it. The proposed manufacturing technology of varicap structures using two-way heterization with the help of implantation of phosphorus ions in the reverse side of the plates and carrying out additional diffusion of boron in the working side of the plates is considered in detail. The experimental results of the study of the influence on the inverse characteristic of the varicap of bilateral heterogeneity are presented, as well as the possible mechanisms of this influence are analyzed. The effectiveness of the proposed technology with the use of hetering in reducing the level of reverse currents and increasing the output of suitable devices is shown.

Key words: varicap, structural defects, heterogeneity, oxidation packing defects, surface effects, reverse current.

Постановка проблеми. Варикапи широко використовуються в радіоелектроніці в якості змінної ємності, величина якої управляється напругою [1]. Одною з основних проблем технології виготовлення варикапів є низький вихід придатних приладів на операціях контролю їх зворотного струму. Причиною низького виходу варикапів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів і сторонніх домішок та якості поверхні варикапних структур [2; 3]. Вплив поверхневих ефектів на зворотні характеристики особливо проявляється в високовольтних варикапах, так як база високовольтного варикапа з'єднана основними носіями заряду, що при наявності неконтрольованих домішок на її поверхні може привести до поверхневого пробію, тунелюванню носіїв заряду крізь потенційний бар'єр р-n переходу, міграції іонів по поверхні р-n переходу, що призводить до збільшення струму поверхневого витоку [4].

Поверхневі ефекти виникають в р-n переході при забрудненні його поверхні домішками металів (Na, K, Cu, Au, Ni і ін.), які знаходяться у вигляді іонів, і утворюють поверхневий заряд. Ці домішки можуть потрапити на пластининапівпровідника, наприклад, з травильних розчинів, кварцевих труб дифузійних і окислювальних печей тощо.

Серед структурних дефектів, що утворюються в активних областях варикапних структур в процесі проведення високотемпературних операцій, в першу чергу, слід відмітити окислювальні дефекти упакування (ОДУ) [2]. В діодах на основі кремнію, домішки тяжких металів, прискорюючись вздовж структурних дефектів, проникають в область просторового заряду р-n переходу, де створюють в забороненій зоні кремнію глибокі рівні, через які відбувається додаткова генерація носіїв заряду, що призводить до збільшення рівня зворотних струмів діода [5].

З метою зменшення щільності структурно-домішкових дефектів в кремнії використовуються різні методи гетерування [6; 7], але, як показала практика, багато з них виявляються малоефективними для зниження рівня зворотного струму діодів. Розроблено багато різних методів для покращання поверхневих властивостей структур діодів, однак далеко не всі вони ефективні для покращання зворотних характеристик діодів.

Формулювання мети дослідження. Метою даної роботи є дослідження впливу структурних дефектів і домішкових забруднень поверхні діодної структури на рівень зворотного струму високовольтного варикапа і визначенню ефективності запропонованої технології створення гетерних областей в структурі варикапа по відношенню до зниження рівня його зворотного струму і підвищення відсотка придатних приладів.

Експериментальні зразки. Досліджувані варикапні структури виготовлялися за стандартною мезапланарною технологією [1] на легованих фосфором

кремнієвих епітаксіальних структурах n-типу провідності з питомим опором 5 Ом·см товщиною 30 мкм, вирощених на кремнієвій підкладці, орієнтованій в кристалографічному напрямку (111). Для виготовлення варикапних структур проводилися такі основні технологічні операції: – осадження на робочу поверхню пластин шару нітриду кремнію товщиною 0,1 мкм на установці «Ізотрон-1» при температурі 700°C; – фотолітографія по шару нітриду кремнію, залишаючи круглі ділянки нітриду кремнію, в якості маски при травленні меза-структур; – формування меза-структур методом хімічного травлення, використовуючи травильний розчин ($\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH} = 2:9:4$); – термічне окислення меза-структур в дифузійній установці СДОМ-3/100 при температурі 1050°C протягом 2 г з наступним чергуванням циклів окислювального середовища: сухий O_2 (10 хв) – пари води (90 хв) – сухий O_2 (30 хв); – видалення шарів нітриду кремнію з контактних майданчиків травленням пластин в киплячій ортофосфорній кислоті на протязі 30 хв, заздалегідь витримавши пластини в травнику $\text{HF} + \text{H}_2\text{O} = 1 : 20$ протягом 20 с (на випадок наявності тонкої плівки SiO_2 на поверхні нітриду кремнію); – (I) стадію дифузії бору (загонку) методом відкритої труби з джерела домішки B_2O_3 за температури 1100 °C протягом 40 хв у суміші аргону (80 л/год) і сухого кисню (5 л/год); – видалення шару боросилікатного скла з використанням розчину плавикової кислоти; – другу стадію дифузії бору – розгонку бору при температурі 1150 °C по циклу: сухий кисень (30 хв) – вологий кисень (4,5 год) – сухий кисень (30 хв); – осадження методом вакуумного термічного випаровування шару алюмінію товщиною 0,3 мкм на робочу сторону пластин і формування методами фотолітографії невідпрямляючого контакту; – шліфування тильної сторони пластин до товщини 190-200 мкм; – формування омичного контакту з неробочої сторони пластини послідовним нанесенням шарів титану, нікелю (методом вакуумного термічного випаровування) і золота (методом гальванічного осадження).

У результаті виконання перерахованих операцій була отримана структура варикапа, що наведена на рис. 1.

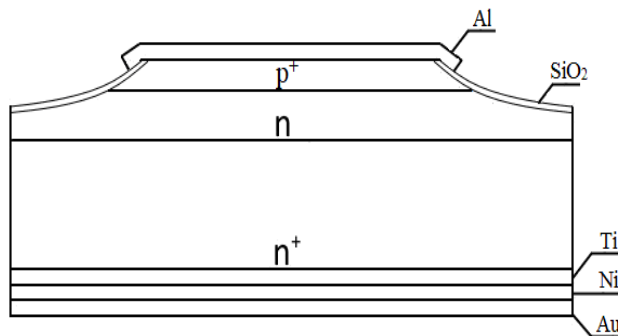


Рис. 1. Структура варикапа, що виготовлена за базовою технологією

Дослідження структурних дефектів. Для виявлення причин низького відсотка виходу придатних варикапів були проведені металографічні дослідження. Виявлення структурних дефектів проводили з використанням травника Сіртла. Вид структурних дефектів і їх щільність оцінювалися за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-1. На пластинах після проведення технологічної операції «термічне окислення» були виявлені окислювальні дефекти упакування

(ОДУ) щільністю до $3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 20 с (рис. 2).

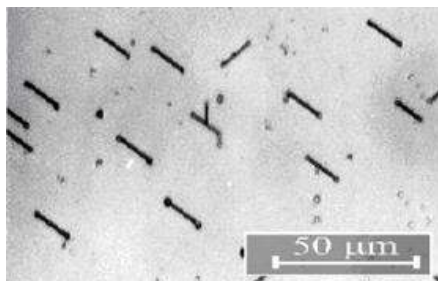


Рис. 2. Мікрофотографія поверхні епітаксильної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення

Вибір технології гетерування. З метою запобігання утворенню ОДУ, які були виявлені в епітаксильних структурах після термічного окислення, необхідно було вибрати ефективний метод гетерування – технологічний процес видалення і дезактивації дефектів [6]. Так як ОДУ утворюються, починаючи з першої високотемпературної операції – термічного окислення, то очевидно, що слід використовувати гетерування уже в самому початку технологічного маршрута виготовлення варикапа. Було випробувано декілька методів гетерування [7–9]. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксильних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою імплантації в неї іонів фосфору. Область гетера (ОГ) була сформована на зворотному боці підкладки після осадження шару нітриду кремнію на робочу сторону пластин імплантацією іонів фосфору з енергією 100 кеВ, дозою $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ на установці «Везувій-5» та послідуємим відпалом пластин при температурі 1100°C в атмосфері аргону (120 л/г) на протязі 2,5 год (див. рис. 3). На рис. 3 приведена структура варикапа, виготовлена з використанням двостороннього гетерування, перед операцією шліфівка зворотної сторони пластини.

Відомо [1], що для високовольних напівпровідникових діодів, виготовлених за мезапланарною технологією, характерними являються поверхневі ефекти, які призводять до збільшення зворотних струмів діодів.

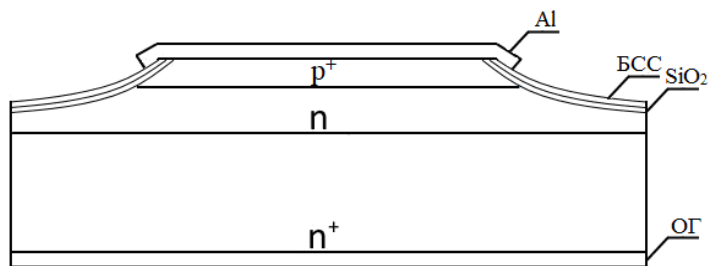


Рис. 3. Структура варикапа, виготовлена за розробленою технологією з використанням двостороннього гетерування

З метою покращання властивостей поверхні структур діодів і зменшення рівня їх зворотних струмів був опробований також метод створення області гетера на робочій стороні пластини проведенням додаткової дифузії бору із джерела B_2O_3 при температурі 1050 °C на протязі 20 хв в суміші аргону (120 л/г) і сухого кисню (5 л/г). При цьому на поверхні захисного шару SiO_2 утворюється плівка боросилікатного скла (БСС) (див. рис. 3).

Вплив додаткової дифузії бору на якість поверхні діодних структур оцінювали за методикою, приведеною в роботі [4]. На вихідних пластинках нарощувалась плівка SiO_2 в умовах, аналогічних умовам розгонки бору, після чого їх розрізали на дві частини. Одну з них залишали в якості контрольної, а в іншій проводили додаткову дифузію бору в шар SiO_2 в режимі, що відповідає розробленій технології. Після цього на всі пластини осаждали Al і за допомогою фотолитографії виготовляли МОН-структури (Al – SiO_2 – Si). Далі з використанням C-V-методу розраховували значення сумарного заряду на структурі, виготовленій з використанням додаткової дифузії бору (Q_{ss1}), і на контрольній МОН-структурі (Q_{ss2}). Вольт-фарадні характеристики вимірювали за допомогою приладу RLC E7-12. В результаті було отримано $Q_{ss1} = 3,3 \cdot 10^{-9}$ Кл; $Q_{ss2} = 5,1 \cdot 10^{-9}$ Кл, відношення зарядів складо $Q_{ss2} / Q_{ss1} \approx 1,5$.

Таким чином, використання додаткової дифузії бору дало можливість зменшити в 1,5 рази величину сумарного заряду в SiO_2 , що адекватно зменшенню щільності поверхневих станів на межі розділу Si – SiO_2 [4]. Це дало можливість суттєво зменшити тунелювання носіїв струму крізь потенційний бар'єр p-n переходу і тим самим зменшити рівень зворотного струму діода.

Дослідження ефективності розробленої технології. Для випробування запропонованого способу виготовлення структур високовольтного варикапа були сформовані експериментальні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена відомим способом, інша – запропонованим способом. Ефективність використання запропонованого способу оцінювалася по відсотку виходу придатних діодних структур при їх контролі по рівню зворотних струмів ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 3$ мкА при зворотній напрузі 150 В.

Таблиця 1

Спосіб виготовлення структур високовольтного варикапа	Номер експериментальної партії	Вихід придатних варикапних структур на контролі рівню їх зворотних струмів, %
Запропонований спосіб виготовлення	1	94
	2	91
	3	93
Відомий спосіб виготовлення	4	86
	5	84
	6	83

У таблиці 1 наведені порівняльні результати розбраковки за зворотним струмом діодних структур, що виготовлені за базовою (партії № 4–6) і розробленою (партії № 1–3) технологіями. Видно, що використання запропонованої технології дає можливість підвищити вихід придатних діодних структур у середньому на 8,4%. При цьому діодні структури, виготовлені запропонованим способом, мали рівень зворотних струмів в 6–10 разів нижчий у порівнянні з діодними структурами,

виготовленими відомим способом. Отже, використання запропонованого способу виготовлення структур високовольтного діода дозволяє суттєво підвищити вихід придатних діодних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, істотно знизивши при цьому рівень зворотних струмів діодів.

Проведені після розгонки бору металографічні дослідження на структурах варикапів, виготовлених із застосуванням гетерування, показали відсутність в них структурних дефектів.

На рис. 4 приведені зворотні ВАХ варикапних структур, виготовлених за базовою технологією та за технологією з використанням гетерування. Видно, що варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування має ВАХ (крива 2) типову для кремнієвого діода при відсутності в його активних областях структурних дефектів та небажаних домішок. І, навпаки, варикапна структура, виготовлена за базовою технологією, має так звану «м'яку» ВАХ (крива 1), вигляд якої може вказувати на наявність в активних областях варикапу структурних дефектів і домішок металів.

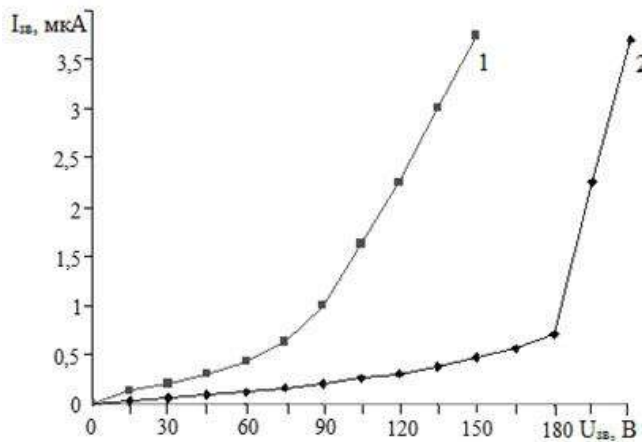


Рис. 4. Зворотні ВАХ варикапних структур:

- 1 – варикапна структура, виготовлена за базовою технологією;
2 – варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування

З порівняння кривих 1 і 2 видно, що варикапна структура, виготовлена за базовою технологією (крива 1), має набагато більший рівень зворотних струмів у порівнянні з варикапною структурою, виготовленою з використанням гетерування (крива 2).

Проаналізуємо механізми впливу областей гетерування, створених іонним легуванням фосфором на зворотній стороні пластини після осадження плівки нітриду кремнію на робочу сторону пластин та проведення додаткової дифузії бору в робочу сторону пластини після розгонки бору на параметри діода.

В процесі відпалу пластин після імплантації іонів фосфору на зворотній стороні пластини формується висока щільність дислокацій, які являються стоком для домішок металів. При цьому знешкоджуються зародки ОДУ, які можуть утворюватись в кремнії при вирощуванні злитків і в процесі епітаксії. Це запобігає утворенню ОДУ в процесі термічного окислення пластин та послідоючих термічних операцій. Крім того, в процесі відпалу пластин після імплантації іонів фосфору

і термічного окислення утворена область гетера ефективно поглинає неконтрольовані домішки із об'ємної і приповерхневої областей пластини, зменшуючи тим самим зворотні струми діодів, обумовлені як об'ємними, так і поверхневими механізмами.

Шар боросилікатного скла, який утворюється в процесі проведення дифузії бору на поверхні захисної плівки SiO_2 , проявляє гетеруючу дію по відношенню до домішкових забруднень, які зазвичай попадають в плівку SiO_2 в процесі термічного окислення із стінок кварцевої труби і окислювального середовища (зазвичай це домішки Na, K, Fe, Ni, Cu і ін.). За рахунок цього відбувається глибока очистка шару захисного оксиду і межі розділу Si – SiO_2 від сторонніх домішок, що дає можливість зменшити величину сумарного заряду в SiO_2 , а це рівнозначно зменшенню щільності поверхневих станів на межі розділу Si – SiO_2 . Здобуте за рахунок гетерування покращення якості поверхні структур практично виключає тунелювання носіїв струму крізь потенційний бар'єр p-n переходу, що в свою чергу забезпечує суттєве зменшення струмів поверхневого витоку при зворотному включенні діодів.

Висновки. З проведених досліджень можна зробити висновок, що причиною низького відсотка виходу придатних структур високовольтного варикапа при контролюванні їх зворотного струму є окислювальні дефекти упакування, які утворюються в активних областях діодів в процесах проведення високотемпературних технологічних операцій, а також неконтрольовані домішки металів, які попадають на пластини напівпровідника в процесі проведення технологічних операцій.

Використання гетера, сформованого імплантацією іонів фосфору на зворотній стороні пластини, і послідовний високотемпературний відпал дозволяють запобігти утворенню ОДУ в активних областях варикапів, що дає можливість суттєво зменшити рівень їх зворотних струмів.

Наявність гетера, отриманого дифузиею бору в робочу сторону пластини, дає можливість суттєво зменшити поверхневий заряд, що запобігає небажаним поверхневим ефектам, таким як тунелювання носіїв струму крізь потенційний бар'єр p-n переходу, міграція іонів по поверхні p-n переходу та поверхневий пробій діодів і, таким чином, виключити струми поверхневого витоку.

Таким чином, розроблена технологія виготовлення структур високовольтного варикапа дає можливість запобігти утворенню окислювальних дефектів упакування в активних областях діодів і покращати стан поверхні діодних структур, що забезпечує зниження рівня зворотних струмів діодів і, як наслідок, підвищення відсотка виходу придатних приладів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів. Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2018. 184 с.
2. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.
3. 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.
4. Литвиненко В.М., Вікулін І.М. Вплив властивостей поверхні на зворотні характеристики напівпровідникових приладів. Вісник ХНТУ, 2018. Т. 64. № 1. С. 46–56.
5. Milnes A. G. Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 1973. 526 p.

6. 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.
7. 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.
8. Prussin S. Ion implantation gettering: a fundamental approach // *Solid State Technology*, 1981. № 7. P. 52–54.
9. 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.

REFERENCES:

1. Litvinenko V.M. (2018) *Fizyka ta tekhnolohiya napivprovodnykovykh diodiv* [Physics and Technology of Semiconductor Diodes]. Kherson. Vyshehirsky V.S., 184 p. [in Ukrainian].
2. Ravi K.V. (1981) *Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon*. John Wiley & Sons, New York, 379 p.
3. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. (1987) Impurities and defects in silicon single crystal // *Progress Crystal Growth and Characterization*, 15(2), 97–131.
4. Lytvynenko V.M., Vikulin I.M. (2018) Influence of surface properties on reverse characteristics of semiconductor devices. *Visnyk of KhNTU*, 64(1), 46–56 [in Ukrainian].
5. Milnes A. G. (1973) *Deep Impurities In Semiconductors*. John Wiley & Sons, New York, 526 p.
6. 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.
7. Renschi S. (1984) Durability of mechanical damage gettering effect in Si wafers // *Japanese Journal of Applied Physics*, 23(8), 1, 959–964.
8. Prussin S. (1981) Ion implantation gettering: a fundamental approach // *Solid State Technology*, (7), 52–54.
9. Litvinenko V. N., Bohach N. V. (2019) Modeling of heterization processes of fast-diffusing impurities in Schottky diode technology. *Visnyk of KhNTU*, 68(1), 25–33 [in Ukrainian].

УДК 624.01:51.001:624.131

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.21>

РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СХИЛІВ ОДЕСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖЯ

Мироненко І. М. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Цивільна інженерія та архітектура»
Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-5322-9859

Литвиненко В. В. – старший викладач кафедри «Морські та річкові порти,
водні шляхи та їх технічна експлуатація»
Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-0715-5190

На Чорноморському узбережжі, зокрема, в Одеській області, існує величезна кількість зсувних схилів. Практично вся незабудована частина узбережжя є схилами де сталися або відбуваються зсувні явища. Більшість зсувів обумовлено геологічною структурою ґрунтів. Типами прибережних зсувів є: обвалення зі зрізом і обертанням і обвалення сповзання. Більшість зсувів знаходиться в активному стані. Найочевидніше сліди зсувних процесів помічені в приміських популярних селищах – Крижанівка, Дофінівка, Санжейка, Саймон.

Останнім часом окремими фахівцями висловлюються думки, що не може, бути будь-якої вираженої поверхні ковзання. При зсуву шари ґрунтів глибоко захоплюються деформаціями, величини яких безперервно зменшуються в міру віддалення від поверхні ґрунту. Ці обвалення мас ґрунту без фіксування поверхонь ковзання можуть відбуватися тільки при в'язкопластичному перебігу ґрунту.

Причина зсувів – забудова з відсутністю системи стоку ґрунтових вод, недбале ставлення до берегоукріплення та хаотичне будівництво без систем берегозахисту. Раніше в таких зсувонебезпечних районах дозволялося будувати в основному дерев'яні легкі конструкції. Зараз же все узбережжя стало зоною котеджової важкої забудови. Балки, такі як в Чорноморську, засипані, а системи відводу вод не організовані. А адже саме вони і служили буферними місцями накопичення вод при зливових дощах і рясному випаданні опадів. Також інтенсивне будівництво на березі змінило перебігу, а відсутність берегоукріплювальних споруд призвело до того, що в новій ситуації берег виявився беззахисним.

Характер деформацій ґрунту, що відбуваються при обваленні земляних мас істотно залежить від властивостей ґрунту. Неможливо створити таку розрахункову модель, яка могла б відобразити велику різноманітність особливостей властивостей ґрунтів, що зустрічаються в природі.

Ключові слова: пружнов'язкопластичний, стійкість, схил, неоднорідність, навантаження, напруга, деформації, переміщення.

Mironenko I. M., Litvinenko V. V. Calculation of stability of slopes of the Odessa coast

There are a huge number of landslide slopes on the Black Sea coast, particularly in Odesa region. Almost the entire undeveloped part of the coast is slopes where landslides have occurred or are occurring. Most landslides are caused by the geological structure of the soil. The types of coastal landslides are shear and rotation landslides and slip landslides. Most landslides are active. The most obvious traces of landslide processes are seen in the popular suburban villages of Kryzhanivka, Dofinivka, Sanzheika, and Simon.

Recently, some experts have expressed the opinion that there cannot be any pronounced sliding surface. During a landslide, soil layers are deeply affected by deformations, the magnitude of which continuously decreases as they move away from the soil surface. These collapses of masses of soil without fixing sliding surfaces can occur only when the soil is visco-plastic.

The landslides are caused by development without a groundwater drainage system, negligence of bank protection and chaotic construction without bank protection systems. Previously, mainly lightweight wooden structures were allowed to be built in such landslide-prone areas. Now the entire coast has become a zone of heavy cottage construction. Gullies like the one in Chornomorsk are filled in, and there are no water drainage systems in place. But they served as buffer areas for water accumulation during heavy rains and heavy rainfall.

Also, intensive construction on the shore changed the course of the river, and the lack of bank protection structures led to the fact that in the new situation the bank was defenceless

The nature of soil deformations that occur during the collapse of earth masses depends heavily on the properties of the soil. It is impossible to create a calculation model that could reflect the wide variety of soil properties found in nature.

Key words: *elastic-viscoplastic, stability, slope, heterogeneity, load, stress, strain, displacement.*

Вступ. Зсув виникає тоді, коли спрямована вздовж схилу складова сил, що діють на деяку масу пухкого ґрунту або скельних порід, виявляється більше міцності матеріалу або більше його опору сколювання. Перехід від стійкого стану до початку ковзання означає, що в результаті якихось причин змінилося або зусилля, що діє на гірські породи схилу, або опір цих порід. Досліджуючи компоненти, що утворюють сумарну силу, прикладену до матеріалу, і його опір деформуючих, можна встановити, які причини привели до початку зсуву і який механізм цього зсуву.

Конкретна розрахункова ґрунтова модель схилу зазвичай розробляється з урахуванням тих чи інших припущень на підставі інженерно-геологічних досліджень, які мають якнайповніше відображати реальний поточний стан ґрунтів і можливу їхню зміну з плином часу.

Під схилами розумітимемо нахилені в один бік ділянки земної поверхні природного походження. Один із таких схилів, розташований на Одеському узбережжі, показаний на рисунку 1.

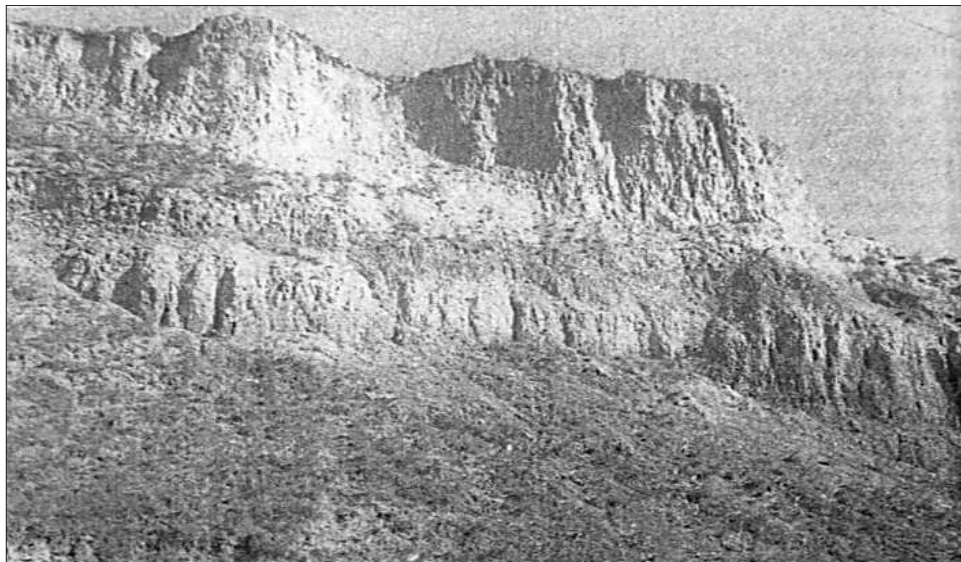


Рис. 1. Схил на Одеському узбережжі

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найчастіше науковці використовують групу моделей, яка розглядає ґрунти схилів як суцільне, деформоване, пружнов'язкопластичне, неоднорідне і зміцнювальне середовище, у кожній точці якого можна з єдиних позицій визначити, як напруження, так і деформації. Це найпрогресивніша нелінійна теорія складна, як у теоретичному викладі, так і під

час чисельної реалізації, але вона, як порівняти з іншими теоріями, якнайповніше відображає природні властивості ґрунтів [1; 2, с. 38; 3, с. 53; 4, с. 87].

Мета дослідження. Метою дослідження є розрахунок стійкості схилів в залежності від умов, що хибно впливають на їх надійність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час проектування надійних захисних споруд для забезпечення довготривалої стійкості схилів необхідно виходити з найнесприятливіших умов, що виникають у даному районі їх розташування. Наприклад, зміна властивостей ґрунтів від вивітрювання, від порушення фільтраційного режиму підземних вод. Від сейсмічних сил землетрусу, а також від підмиву річковими або морськими хвилями підніжжя схилів, їхнього підризування, додаткового навантаження і забудови. Вплив цих та інших чинників на напружено-деформований стан і тривалу міцність ґрунтів схилу може бути враховано тільки в його сучасній нелінійній розрахунковій моделі. Отримані з розрахунку кількісні та якісні результати дають змогу визначати деформації, напруження і прояви зсувів, що виникають у схилі. Вони також дають змогу керувати поведінкою схилу під час його експлуатації та реконструкції, а також надійніше та більш економніше проектувати комплекси протизсувних захисних споруд, що дасть змогу своєчасно уникнути неприємних наслідків. Тому, пружно-пластична модель на даний час більш точно і повно порівняно з іншими теоріями відображає реальні властивості ґрунтів [2, 5, 6]. Для аналізу, ілюстрації та інтерпретації деяких характерних результатів розрахунку розглянемо один з одеських схилів. Його розрахункова схема наведена на рисунку 2.

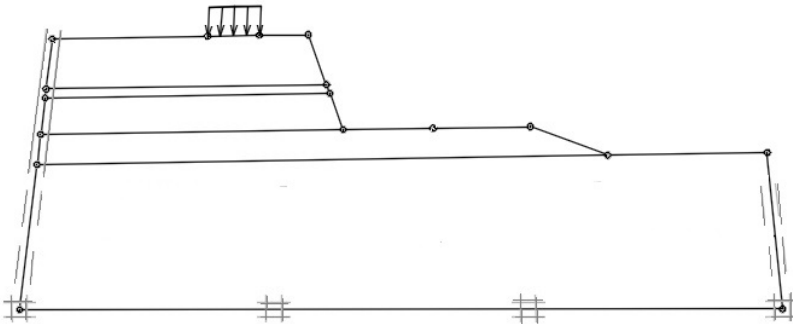


Рис. 2. Розрахункова схема схилу

Дискретизацію області схилу та вихідних рівнянь виконано методом скінченних елементів. У розрахунках прийнято кількість скінченних елементів 340, а їхніх вузлів 2845. Як функцію навантаження не використовуємо умову Кулона-Мора зі зміцненням.

Досліджуємо цей схил за відсутності підземних вод, тому що вважаємо, що вони перехоплені й виведені в галереї та штольні. Приймаємо такі міцнісні й деформовані властивості ґрунтів: зчеплення c (у kH/m^2), кут внутрішнього тертя φ (у градусах), модуль деформації E (kH/m^2), коефіцієнт Пуассону. Лес – $C=100$, $\varphi=20$, $E=8600$, $\mu=0,35$; червоно-бурі глини – $C=120$, $\varphi=20$, $E=10400$, $\mu=0,4$; вапняк – $C=100$, $\varphi=20$, $E=9000$, $\mu=0,25$; меотична глина на верхній шар – $C=90$, $\varphi=19$, $E=16000$, $\mu=0,4$; меотична глина, що перебуває у зволоженому стані – $C=30$, $\varphi=15$,

$E=14000$, $\mu=0,4$. Дані наведені по ґрунтових шарах схилу зверху вниз, як показано на рисунку 2.

Наведемо деякі результати, отримані після виконання розрахунку, який здійснювався за двома етапами. На першому етапі визначався напружено-деформований стан у ґрунтах від дії їхньої власної ваги. Потім отримані деформації обнулялися, але напруження зберігалися. На другому етапі розрахунку визначали сумарні напруження від чинного навантаження і власної ваги. Переміщення враховували тільки від навантаження. На рис. 3 наведено епюру його повних переміщень (що збігаються з напрямком вектору переміщень).

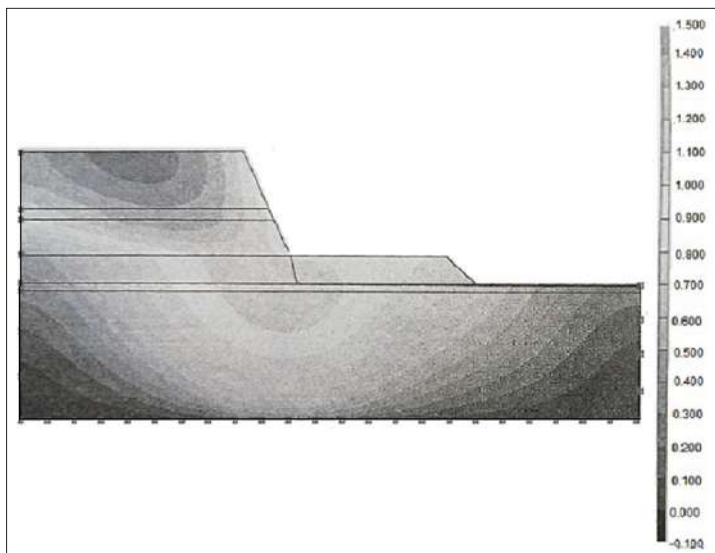


Рис. 3. Еюра загальних переміщень схилу

Праворуч рисунку зображено шкалу переміщень (у метрах). Найбільше переміщення в схилі становлять 1.46 метра, вона розташована на плато схилу під природним навантаженням.

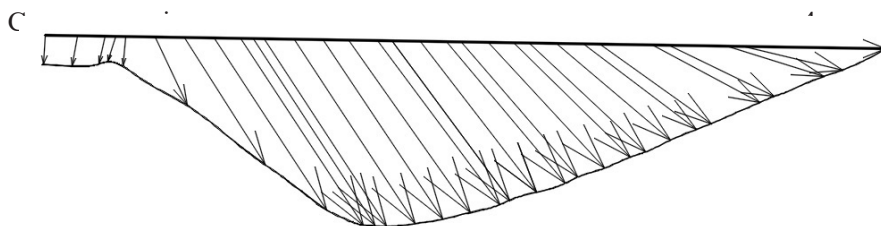


Рис. 4. Схема нуклімації схилу до перерізу на рівні підшови

Рядками вказано напрямок отриманих переміщень. Масштаб переміщень збережено до найбільшого з них = 0.98 метра.

Було визначено коефіцієнт стійкості схилу, який дорівнює $K=1.029$, тобто схил перебуває у стадії близькій до втрати стійкості. Еюра дотичних напружень σ_{12} (у kH/m^2) наведена на рисунку 5.

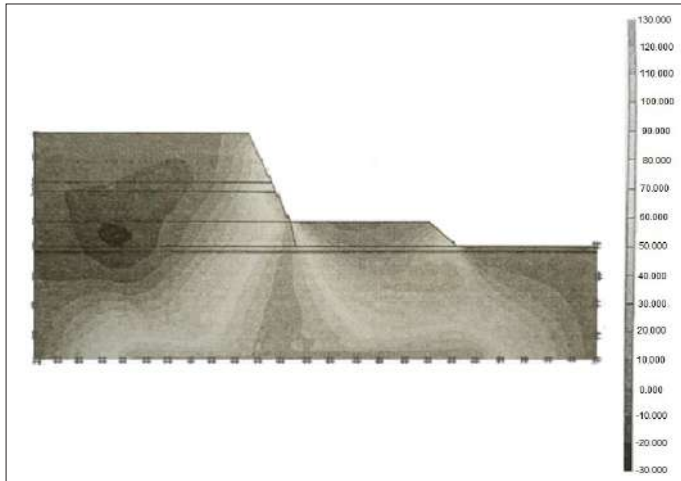


Рис. 5. Еюра дотичних напружень

Встановлено, що найбільші дотичні напруження дорівнюють $121,17 \text{ kN/m}^2$.

Вище розглядалася стійкість схилів одеського узбережжя із застосуванням пружнов'язкопластичної моделі, яка найточніше і найповніше, порівняно з іншими моделями, відображає реальні властивості ґрунтів [2, 3, 4]. Також описано два етапи визначення напружено-деформованого стану в ґрунтах від їхньої власної ваги та від дії навантаження і власної ваги.

На третьому етапі зрізалася тераса схилу, яка відігравала роль його привантаження. Після її зняття схил втрачає стійкість. Найбільші його переміщення стали рівними 147 метрів. Еюра загальних переміщень до стабілізації зсуву ґрунту, коли найбільші їхні значення дорівнюють 42,5 метри, наведена на рисунку 6.

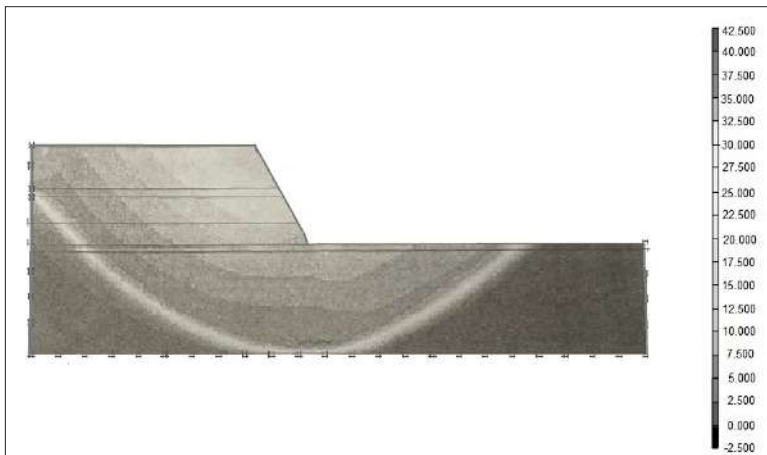


Рис. 6. Еюра повних переміщень схилу після третього етапу розрахунку.

Стався глибокий зсув ґрунту першого типу за класифікацією Драпникова А.М. із захопленням меотичних глин.

Попередні розрахунки виконувалися в пружнопластичній, але геометрично лінійній постановці. Було також виконано розв'язання наведеного вище прикладу з урахуванням геометричної нелінійності. Розрахунки показали, що після третього етапу коефіцієнт безпеки схилу став дорівнювати $K=1.01$, тобто формально він стійкий, але незначні впливи, які погіршують його стан, можуть призвести до утворення опірнів. Врахування в розрахунках геометричної нелінійності ніби збільшує жорсткість системи і уповільнює настання втрати стійкості схилу. Епюра повних переміщень схилу в цьому випадку наведена на рисунку 7.

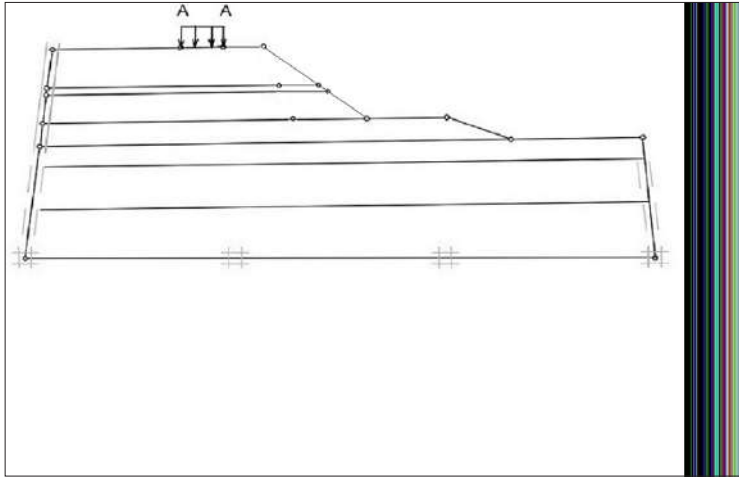


Рис. 7. Епюра повних переміщень схилу в разі врахування в розрахунках геометричної нелінійності

Також було виконано тільки пружний розрахунок за збереженої тераси. Для цього після другого етапу розрахунку епюра повних переміщень наведена на рисунку 8.

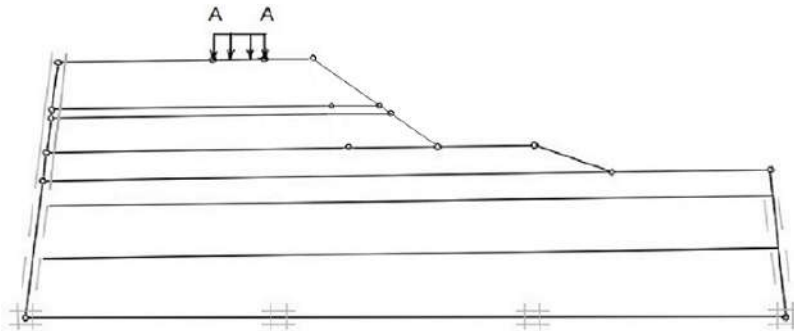


Рис. 8. Розрахункова схема уположеного схилу

Якщо за пружнопластичного розв'язання максимальне загальне переміщення схилу дорівнювало 1,46 метрів, а найбільша дотична напруга становила $121,17 \text{ кН/м}^2$, то ці величини за пружного розрахунку відповідно дорівнюють

1,04 метри і $189,73 \text{ кН/м}^2$. З цього випливає, що переміщення зменшилися, а дотичні напруження збільшилися.

Також було виконано пружнов'язкопластичний розрахунок схилу. Розрахунком встановлено, що переміщення припиняться через 8426 діб, якщо на нього за цей час не буде нових впливів і властивості ґрунтів не зміняться. Його максимальні загальні деформації за вказаний термін додатково збільшуються тільки на 5,2 см.

Припустимо цей схил уположений (рис. 9). Виконаємо розбиття схилу на трикутні скінченні елементи.

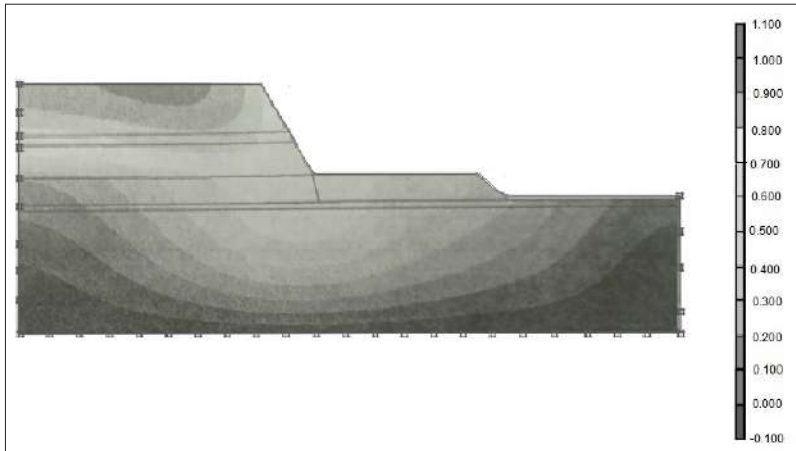


Рис. 9. Епюра повних переміщень, отримана з пружного розрахунку.

Припустимо, що благоустрій схилу виконано, але витік рідини, спричинений зношеністю водонесучих комунікацій у прибережній зоні, не усунуто. У цьому разі верхні шари ґрунту перебувають у зволоженому стані та їхні міцнісні властивості зменшилися. Тоді вони у вище зазначених позначеннях 1 стали рівними: лес – $C=60$, $\varphi=150$, $E=8600$; червоно-бурі глини – $C=80$, $\varphi=160$, $E=10400$; вапняк – $C=60$, $\varphi=150$, $E=9000$; месотична глина нижній шар – $C=30$, $\varphi=150$, $E=14000$.

Епюра утворення пластичних зон у схилі наведена на рисунку 10.

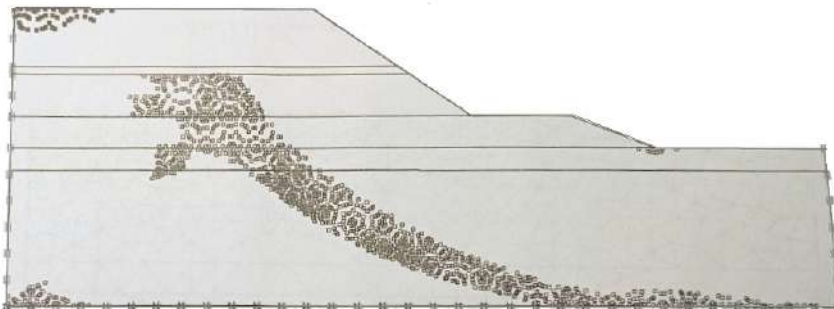


Рис. 10. Утворення пластичної зони в схилі

На ній чітко видно утворену поверхню руху майбутнього зсуву ґрунту, що утворюється. Поки що ця поверхня лівим кінцем не виходить на вільну верхню поверхню схилу, тому її формування остаточно не закінчено.

Епюра повних переміщень схилу наведена на рисунку 11.

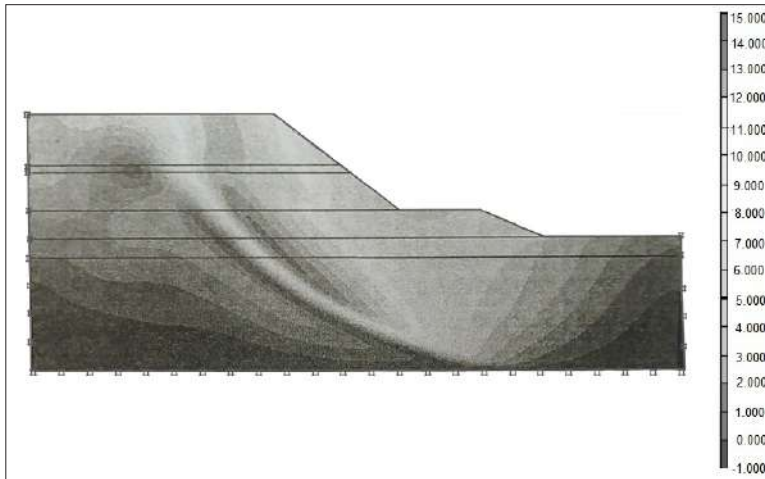


Рис. 11. Повні переміщення схилу

Його найбільше переміщення дорівнює 2,63 см.

Коефіцієнт стійкості для цього схилу дорівнює величині $K=1.21$. Також було виконано розрахунок, коли аварійний стан водопроводу і каналізації усунуто і витік води відсутній. У цьому випадку величина коефіцієнта стійкості стала рівною $K=1.87$.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведеними за двома етапами розрахунками схилу встановлено, що коефіцієнт стійкості схилу $K=1,029$, а максимальні дотичні напруження $\sigma_{12}=121,17$ кН/м². Виконані розрахунки стійкості схилу за третім етапом свідчать про те, що зволоження ґрунту значно знижує коефіцієнт стійкості схилу та може при великій вологості призвести до втрати стійкості навіть впорядкованих схилів. Коефіцієнт стійкості для цього схилу дорівнює величині $K=1.21$. У випадку коли аварійний стан водопроводу і каналізації усунуто і витік води відсутній величина коефіцієнта стійкості стала рівною $K=1.87$.

Проведення подальших досліджень, щодо стійкості схилів, має перспективний напрямок. На основі аналізу сучасного стану узбережжя, геологічних та гідрологічних умов в даному районі, а також вираженої тенденції на забудову прибережної і реактивної зони, існує необхідність розробки протизсувних заходів на даній ділянці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гришин В.А., Дорофеев В.С. Нелінійна динаміка конструкцій, що взаємодіють з деформованим середовищем. Одеса, Астропрінт, 2000. 136 с.
2. Гришин В.А., Дорофеев В.С. Нелінійні моделі конструкцій, що взаємодіють із ґрунтовим середовищем / монографія. Одеса: Зовнішнєрекламсервіс, 2006. 242 с.

3. Гришин В.А., Дорофєєв В.С. Деякі нелінійні моделі ґрунтового середовища. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. 309 с.
4. Гришин В.А., Дорофєєв В.С. Розрахунок протизсувних споруд. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. 215 с.
5. Вировий В.М., Дорофєєв В.С., Суханов В.Г. Моделювання конструкцій як складних систем // Вісник ОДАБА. В. 28. Одеса: Зовнішрекламсервіс: 2007. С. 64–70.
6. Соломатов В.І., Вировий В.М., Дорофєєв В.С. Основи композиційних будівельних матеріалів // Харків: ХІНГХ, 1990. 52 с.

REFERENCES:

1. Hryshyn V.A., Dorofieiev V.S. (2000) Neliniina dynamika konstruksii, shcho vzaiemodiiut z deformovanyum seredovyshchem. Odesa, Astroprint, 136s.
2. Hryshyn V.A., Dorofieiev V.S. (2006) Neliniini modeli konstruksii, shcho vzaiemodiiut iz gruntovym seredovyshchem / monohrafiia. Odesa: Zovnishreklamservis, 242 s.
3. Hryshyn V.A., Dorofieiev V.S. (2007) Deiaki neliniini modeli gruntovoho seredovyshcha. Odesa: Zovnishreklamservis, 309 s.
4. Hryshyn V.A., Dorofieiev V.S. (2009) Rozrakhunok protyzsuvnykh sporud. Odesa: Zovnishreklamservis, 215 s.
5. Vyrovyy V.M., Dorofieiev V.S., Sukhanov V.H. (2007) Modeliuvannia konstruksii yak skladnykh system. Visnyk ODABA. V.28. Odesa: Zovnishreklamservis. S. 64–70.
6. Solomatov V.I., Vyrovyy V.M., Dorofieiev V.S. (1990) Osnovy kompozytsiinykh budivelnykh materialiv. Kharkiv: KhINHKh, 52 s.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 628.161

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.22>

ЗБІР ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ ЯК ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ГОСПОДАРСЬКИХ ПОТРЕБАХ

Волошин М. М. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-0467-1963

У статті представлена актуальність роботи, яка полягає в зборі та раціональному використанні природних ресурсів, а саме дощової води для господарських потреб. Наведено проблеми, щодо раціонального витрачання природних ресурсів та запропоновано використовувати в технічних і господарських цілях не питну, а дощову воду. Представлено стан вивчення проблеми, яка полягає в тому, що людині потрібна прісна вода для нашого повсякденного життя, для виробництва продуктів харчування і промислових товарів. Наведено десять причин використовувати дощову воду. У статті представлено завдання і методика дослідження, яка полягає в розумному використанні дощової води з системами, спеціально розроблені для економічного рішення і сприятливі для навколишнього середовища. Представлені системи, що підходять для роботи в будинку так і на подвір'ї. У зв'язку із зростанням тарифів на водопостачання, використання дощової води стає все більше виправданим. Наведено результати досліджень. Дощова вода дає можливість серйозно заощадити при підключенні будинку до загального водопроводу, адже платити по рахунках доведеться набагато менше. Завдяки використанню дощової води можна зекономити до 71 літра питної води на людину в день. Представлено графік потреби води на людину в день для використання за різного призначення. Визначено, що на практиці питна вода життєво необхідна лише для власне пиття і приготування їжі (близько 5% денної норми), а також для особистої гігієни (30%) і миття посуду (20%). При пранні (15% добової витрати води), експлуатації каналізації (30%) і в інших господарських потребах замість питної води цілком можна використовувати дощову. Представлено типову систему для побутового використання дощової води, яка складається із кількох основних елементів: безпосередньо водозбірник дощової води; очисні фільтри; резервуар для зберігання; паралельний водопровід.

Ключові слова: збір, дощова вода, технологія, господарські потреби, площа збору.

Voloshyn M. M. Collection and use of rainwater as an innovative application technology in economic needs

The article presents the relevance of the work, which consists in the collection and rational use of natural resources, namely rainwater for economic needs. The problems related to the rational use of natural resources are presented and it is proposed to use rainwater, not drinking water, for

technical and economic purposes. The state of study of the problem is presented, which consists in the fact that humans need fresh water for our daily life, for the production of food and industrial goods. Here are ten reasons to use rainwater. The article presents the task and methodology of research, which consists in the intelligent use of rainwater with systems specially designed for an economic solution and favorable for the environment. Systems suitable for work in the house and in the yard are presented. In connection with the increase in tariffs for water supply, the use of rainwater is becoming more and more justified. The results of research are given. Rainwater makes it possible to make serious savings when connecting the house to the general water supply, because you will have to pay bills much less. Thanks to the use of rainwater, you can save up to 71 liters of drinking water per person per day. A schedule of water needs per person per day for use for various purposes is presented. It was determined that in practice, drinking water is vital only for drinking and cooking (about 5% of the daily norm), as well as for personal hygiene (30%) and washing dishes (20%). When doing laundry (15% of daily water consumption), operating the sewage system (30%) and in other household needs, it is quite possible to use rainwater instead of drinking water. A typical system for domestic use of rainwater is presented, which consists of several main elements: directly the rainwater catchment; cleaning filters; storage tank; parallel water pipe.

Key words: collection, rainwater, technology, economic needs, collection area.

Постановка проблеми. За даними ООН на нашій планеті посилюється дефіцит питної води. Від її нестачі страждає близько 40% населення Землі [1]. І хоча в Україні подібної проблеми поки не спостерігається, про раціональне витрачання природних ресурсів варто задуматися. Наприклад, можна використовувати в технічних і господарських цілях не питну, а дощову воду.

Стан вивчення проблеми. Людині потрібна прісна вода для нашого повсякденного життя, для виробництва продуктів харчування і промислових товарів. Тож на часі є актуальною боротьба з забрудненням води і неефективним її використанням. Якщо врахувати, що майже одна чверть населення світу не має доступу до чистої питної води, стає зрозуміло, що зусилля для доступу до неї створюють потенціал для світових конфліктів. Питна вода є необхідною, для неї немає ніякої заміни.

Представимо десять причин використовувати дощову воду [2].

1. Дощова вода задля майбутнього життя. Захист навколишнього середовища – це обов'язок для збереження придатних умов життя наших дітей. З системами для використання дощової води ви робите свій внесок у допомогу доквітлю та майбутньому наших дітей.

2. Свідомість у питанні екології є трендом сучасності. З системою використання дощової води ви демонструєте, що можете комбінувати сучасні технології та є обізнаними в питаннях екології. Це є на часі.

3. Використання дощової води має багато призначень. Завдяки сучасним технологіям дощова вода, що є гігієнічно нешкідливою, надійно використовується для поливання саду та, крім того, для туалетів, пральних машин та багатьох інших потреб, де використання коштовної питної води було б марнотратством.

4. Використання дощової води – це найсучасніші екологічні технології. Екологічні технології мають найкращу світову репутацію в галузі застосування дощової води. Спеціалісти з опалення та питного водопостачання мають ноу-хау, завдяки яким вміло інтегрують цю технологію в автоматизацію будинку.

5. Використання дощової води – це заощадження коштів. До 60% питної води можна заощадити застосовуючи дощову воду. Ці кошти можуть бути використанні для інших потреб. Але більш важливим є збереження води, найціннішого ресурсу.

6. Використання дощової води: так само зрозуміло, як і поділ відходів. Незабаром застосування дощової води буде таким же звичайним явищем, як поділ відходів. Тож це є важливою передумовою для нас, щоб почати використовувати дощову воду вже зараз (рис. 1).

7. Використання дощової води є надійним рішенням для вашого будинку. Сучасні системи використання дощової води є надійними та без проблем відповідають високим стандартам Німецьких правил з водопостачання, (які є одними з найсуворіших у світі).

8. З використанням дощової води ви самодостатні. Новітні технології дають можливість бути хоча б частково незалежним від компанії з водопостачання. Зробіть використання дощової води частиною свого побуту вже сьогодні.

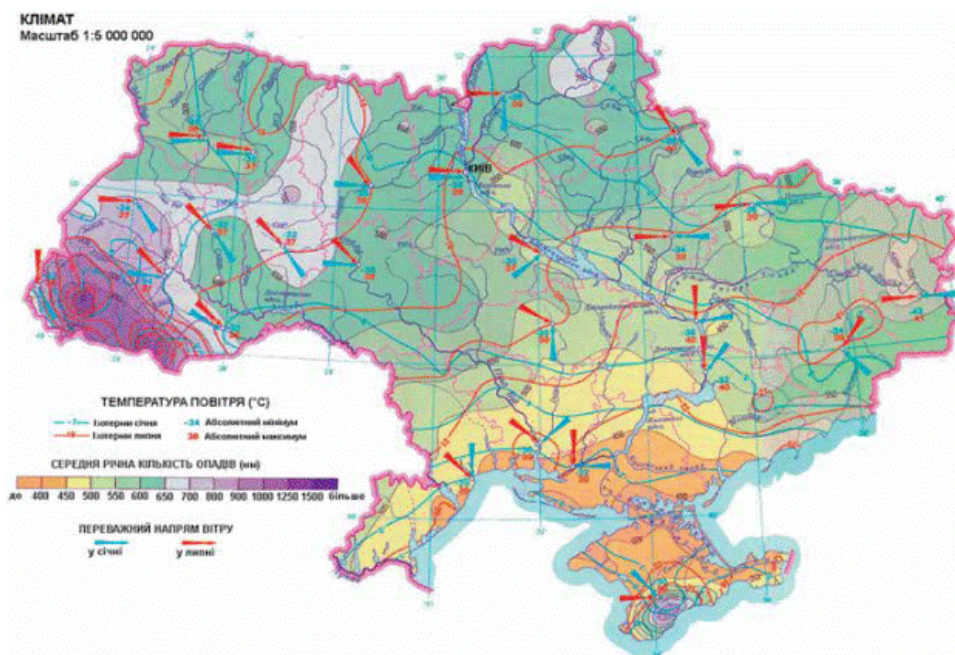


Рис. 1. Середньорічна кількість опадів, в літрах на м² (мм опадів)

9. Використання дощової води: технології з майбутнім. Ми маємо документально підтвержене зростання кількості монтажів систем використання дощової води, показника вище середнього, особливо в останні роки. Це також є доказом гарантованого майбутнього ваших інвестицій.

10. Професійні системи встановленні фахівцями. Сучасні системи використання дощової води – це не продукт «зроби своїми руками», а досить розвинена екологічна технологія. Інвестуйте в надійність та продуктивність, завдяки експертній допомозі.

Завдання і методика досліджень. Розумне використання дощової води з системами, спеціально розробленими для цього, – це економне рішення і корисно для навколишнього середовища.

Такі системи чудово підходять для роботи як в будинку, так і на подвір'ї: зрештою, окрім як для пиття, гігієни та приготування їжі, питна вода, що пройшла кошову очистку, не є абсолютно необхідною.

Особливо це стосується потреб садового чи зовнішнього водопостачання, а також для змиву туалетів та пральних машин, які можуть дуже просто

забезпечуватися цими системами. Це добре для оточення та родинного бюджету: використовуючи дощову воду ви можете зберегти до 71 літра питної води на людину в день [3]. У зв'язку із зростанням тарифів на водопостачання, використання дощової води стає все більше виправданим.

Результати досліджень. Дощова вода дає можливість серйозно заощадити при підключенні будинку до загального водопроводу, адже платити по рахунках доведеться набагато менше. В середньому людина використовує 150–200 л води на добу (рис. 2). І це без урахування таких витратних завдань, як полив саду або миття автомобіля. Завдяки використанню дощової води можна зекономити до 71 літра питної води на людину в день.



Рис. 2. Потреба води на людину в день

Але ж на практиці питна вода життєво необхідна лише для власне пиття і приготування їжі (близько 5% денної норми), а також для особистої гігієни (30%) і миття посуду (20%). При пранні (15% добової витрати води), експлуатації каналізації (30%) і в інших господарських потребах замість питної води цілком можна використовувати дощову. Остання, до того ж, є м'якою водою, і як не можна краще підходить саме для господарських потреб. Головне, правильно зібрати і зберегти рідкі опади.

Типова система для побутового використання дощової води складається із кількох основних елементів:

- Безпосередньо водозбірник дощової води;
- Очисні фільтри;
- Резервуар для зберігання;
- Паралельний водопровід.

При виборі типу, моделі та об'єму резервуару враховуються:

- Середня кількість та інтенсивність опадів у регіоні;
- Споживчі потреби конкретного об'єкту;
- Конструкція даху;
- Бюджет, адже, хоча підземні конструкції більш зручні та компактні, наземні – все ще значно дешевші та простіші при монтажу.

Окрім того, об'єм резервуару має бути таким, щоб навіть у випадку аварії накопичена вода пішла у дощову каналізацію, а не на ділянку.

Фільтри використовуються, щоб одержана вода відповідала санітарно-гігієнічним нормам. Сюди відноситься видалення механічних часток, хімічне очищення, багаторівнева фільтрація, в залежності від подальшого використання води. Після

цього воду до об'єктів подає паралельний трубопровід, що працює незалежно від основної типової системи водопостачання.

Для збору опадів накопичувальний резервуар (у найпростішому випадку – наземна бочка або бак) підключають до водостічної системи покрівлі, з якої і буде стікати вода.

Дах повинен бути з нахилом більше 10° (в калюжах на плоских покрівлях швидко розводяться мікроорганізми), а його покриття не повинне містити азбест або свинець. Найкращий покрівельний матеріал для збору води – керамічна чи цементно-піщана черепиця або оцинкований метал.

Матеріал водостічної системи, по якій вода стікає в накопичувач, також не повинен містити азбест чи свинець. Тому найбільш популярні в приватному будівництві водостоки зі сталі з полімерним покриттям і з ПВХ.

Водостічна труба, від якої відходить канал в накопичувач, має бути також з'єднана зі зливовою каналізацією. Доступ води в ємність краще відкривати через декілька хвилин після початку дощу, щоб збирати з даху тільки чисту воду без пилу, але на практиці так роблять не завжди. Найчастіше просто обмежуються використанням фільтра з діаметром отворів менше 0,2 мм. Можна використовувати і фільтр тонкого очищення, до 5 мкм. Так чи інакше, водопровідний канал на вході в бак потрібно обладнати заслінкою і переливом.

Сам накопичувач може бути підземним або наземним. Зроблений він може бути з бетону, оцинкованої сталі або полімерів (наприклад, з поліетилену). Наземні баки (об'ємом до 2000 л) розміщують, як на вулиці, так і в приміщеннях (наприклад, в гаражі) (рис. 3).

Застосування підземних баків зручніше, оскільки під землею знижується швидкість утворення водоростей і бактерій, а ємності не займають корисний об'єм саду або будинку. Однак застосовують підземні баки лише при невисокому рівні ґрунтових вод. Обсяг підземних ємностей може перевищувати 2000 л, максимум для будинку на 3–4 людини – 5000 л.

При установці бака під землею враховують, що рівень ґрунту над ємністю не повинен бути більше 0,5 м. Крім того, під час монтажу з усіх боків навколо ємності краще насипати 20-сантиметровий шар піску. Це дозволить знизити тиск ґрунту на стінки бака-накопичувача. На випадок аварії або переповнення бак краще чере-



Рис. 3. Різні способи накопичення дощової води

зворотний клапан і сифон з'єднати з каналізацією. Це захистить ємність від попадання запахів і рідин з каналізації в бак.

Для підключення накопичувальної ємності до комунікацій потрібно використовувати насос (по можливості із захистом від сухого ходу). Застосовують, як стаціонарні або переносні садові насоси, так і автоматичні насосні станції або глибинні насоси.

Накопичувач дощової води разом з відповідною системою використання дощової води забезпечує рівномірний та малощумний полив. Зрошення, дощування, полив і чищення – для цього питна вода є занадто дорогою. В таких випадках рекомендується використання дощової води.

Цікаво що, родина з чотирьох осіб у нас в країні може заощадити до 70000 літрів на рік завдяки використанню дощової води. Точний об'єм залежить від місця розташування та розміру площі даху, яку можна відповідно використовувати.

Основні напрямки використання:

- наповнення змивних баків у санвузлах;
- вологе прибирання приміщень та прибирання присадибної ділянки;
- мийка автомобіля;
- зрошення газонів, городів, клумб;
- наповнення протипожежних ємкостей та резервуарів, тощо.

У випадку проживання за містом, коли поблизу відсутні підприємства із шкідливим виробництвом, сферу застосування дощової води можна значно розширити (рис. 4). Її переваги в тому, що для зрошення вона більш корисна, адже точно не містить побутових речовин та забруднювачів. До того ж, зазвичай така вода м'якша. Категорично не рекомендоване лише її використання під час приготування їжі.

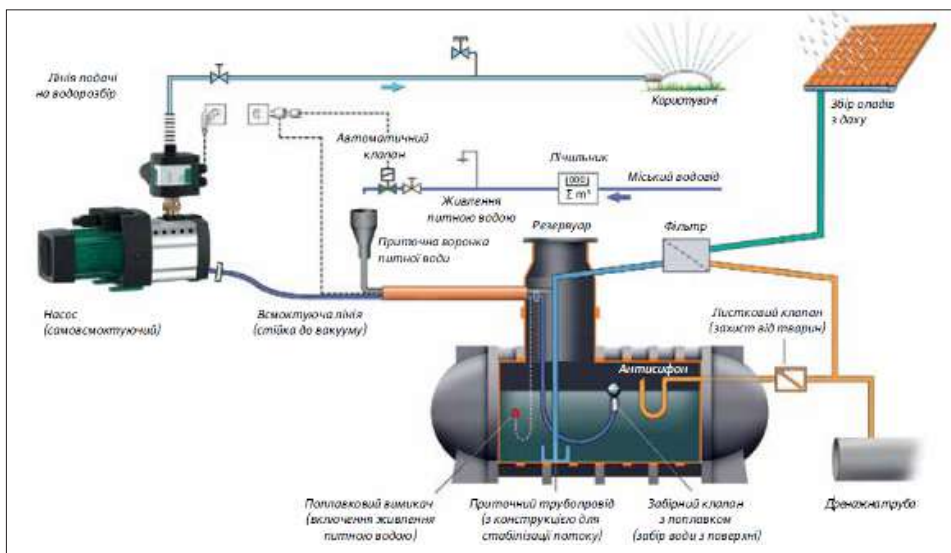


Рис. 4. Приклад системи використання дощової води: полив саду та будинок на одну сім'ю

Наприклад, водозбірник дощової води поєднується із пральними машинами, душовими, навіть посудомийками. Але важливо пам'ятати, що відпрацьована

вода, особливо – із миючими засобами, не має потрапляти безпосередньо в ґрунт. В залежності від типу обладнання, систему водозбору можна додатково доповнити очисними елементами для хлорування, озонування, обробки активним киснем, очищення ультрафіолетовим світлом, тощо.

Висновки

1. Зібрану воду найпростіше використовувати для поливу садових рослин. Для цього достатньо підключити до насоса шланг зі зрошувачем. А ось для використання води, наприклад, в каналізації доведеться прокласти окремий дощовий водопровід.

2. Дощову воду можна використовувати для поливу садів чи городів та миття зовнішніх ділянок садиби чи будинку, таких як тераса чи доріжки – це вигідна і екологічна альтернатива використанню питної води.

3. Основна із переваг її використання – суттєве зменшення споживання водопровідної води, а також – зменшення водозбору із поверхневих та підземних вод, що попереджає просідання ґрунту.

4. Дощову воду можна використовувати для змивних бачків, пральних машин і поливу. Дуже різноманітно вона також може використовуватись у промисловості та інших комерційних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Микола Кондратенко. В ООН заявили про серйозний дефіцит питної води на планеті. 22.03.2021 р. URL: <https://www.dw.com/uk/v-oon-zaiavyly-pro-seriozny-defitsyt-bezpechnoi-pytnoi-vody-na-planeti/a-56952151> (дата звернення: 16.10.2023).

2. Використання дощової води. *Довідниковий посібник*. 04.2016 р.

3. М. М. Волошин. Особливості розробки об'єктів будівництва та їх реконструкції централізованого водопостачання в селищі міського типу Верхній Рогачик Каховського району Херсонської області. // *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки № 2*. 2023. С. 245–255.

REFERENCES:

1. Mykola Kondratenko. V OON zayavyly pro seryoznyy defitsyt pytnoi vody na planeti. 22.03.2021 r. URL: <https://www.dw.com/uk/v-oon-zaiavyly-pro-seriozny-defitsyt-bezpechnoi-pytnoi-vody-na-planeti/a-56952151> (data zvernennya: 16.10.2023) [in Ukrainian].

2. Vykorystannya doshchovoyi vody. *Dovidnykovyy posibnyk*. 04.2016 r. [in Ukrainian].

3. M. M. Voloshyn. Osoblyvosti rozrobky ob"yektiv budivnytstva ta yikh rekonstruktsiyi tsentralizovanoho vodopostachannya v selyshchi mis'koho typu Verkhniy Rohachyk Kakhovs'koho rayonu Khersons'koyi oblasti. // *Tavriys'kyi naukovyy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky № 2*. 2023. S. 245–255. [in Ukrainian].

UDC 666.9.019.3; 666.98; 620.193
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.23>

BASIC METHODS OF MONITORING OF CORROSION PROCESSES OF CEMENT STRUCTURES AND THEIR IMPLEMENTATION FOR PROJECTING OF POSSIBLE MINERALOGICAL CHANGES IN MATRIX COMPOSITION: REVIEW

Kovalenko Yu. O. – PhD,

Assistant at the Department of Chemical Technologies of Composite Materials
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID ID: 0000-0003-0714-3816
Scopus-Author ID: 57884187500

Long time service of concrete constructions is accompanied by continuous impact of environment on its structural integrity and capability to carry project capacity of constructions. This influences are able to change not only chemical composition of cement matrix but itself activates corrosion processes that have place to occur on the joints of metal rebar and cement matrix in reinforced concrete (RC). Chemical initiation in the reinforced concrete begins due to the migration of water with parts of molecular oxygen in the thickness of concrete via porous structure of material. The same can be said about the injected compounds of either SO_4^{2-} or Cl^- components that both can be present either in environment or concrete itself due to the modifications of slurry. Such occurrences usually accompanied by changes of pH of the environment that is crucial for the electrolytic environment to appear. Therefore, the process of the reduction of water/proton may begin at rebar surface which is the cause not only of the reinforced concrete rebar corrosion but also are reason of accelerated cement matrix degradation. Also, must be noted, that steel corrosion in RC accompanied by changes in current flow. Thus, by understanding the chemical processes and changes that occur in cement matrix of concrete and basics of steel corrosion initiation under the influence of aggressive solutions, the list of non-destructive methods of monitoring (NDM) based on electrical methods of monitoring are reviewed.

Different approaches using electrical methods of corrosion monitoring has shown that the use of any of the technics either measurements of the corrosion potential or concrete resistivity or polarization resistance provides different results in mapping of areas with high corrosion risks, monitoring of the heterogeneity of concrete and insights on transport phenomena (e.g. water and salts ingress) in the material. Moreover, advances in potential monitoring without connection to the rebar as non-destructive measurements have shown their effectiveness. Nevertheless, colligation of the results of both numerical and NDM methods is necessary for assortment the results to provide a better data of the worktime of RC structures.

Key words: concrete, corrosion, electrical monitoring, non-destructive methods, aggressive environments, steel rebar.

Коваленко Ю. О. Основні методи моніторингу корозійних процесів цементних конструкцій та їх впровадження для проектування можливих мінералогічних змін складу матриці: огляд

Довготривала служба бетонних конструкцій супроводжується безперервним впливом навколишнього середовища на їх структурну цілісність і здатність підтримувати запроєктовані несучі властивості. Ці впливи, здатні змінювати не тільки хімічний склад цементної матриці, але й самі активують корозійні процеси, котрі відбуваються на з'єднаннях металевої арматури і цементної матриці в залізобетоні (ЗБ). Хімічне ініціювання в залізобетоні починається за рахунок міграції води з частинами молекулярного кисню в товщі бетону через пористу структуру матеріалу. Те саме можна сказати про введені сполуки SO_4^{2-} або Cl^- вмісних компонентів, котрі також можуть бути присутніми як в навколишньому середовищі, так і в самому бетоні у зв'язку з модифікуванням розчинів. Такі явища зазвичай супроводжуються змінами рН середовища, що є вирішальним для появи електролітичного середовища. Таким чином, процес відновлення води/протону може початися на поверхні арматури, що є причиною не тільки корозії залізобетонної арматури, але й є причиною прискореної деградації цементної матриці. Також слід зазначити, що корозія сталі в ЗБ супроводжується зміною струму. Таким чином, з огляду на

розуміння хімічних процесів і змін, які відбуваються в цементній матриці бетону та основ ініціації корозії сталі під впливом агресивних розчинів, розглянуто перелік неруйнівних методів моніторингу (НММ), заснованих на електричних методах моніторингу.

Різні підходи з використанням електричних методів моніторингу корозії показали, що використання будь-якої техніки, будь то вимірювання корозійного потенціалу або питомих опор бетону чи поляризаційного опору, надає різні результати в картографуванні зон з високим ризиком корозії, моніторингу неоднорідності бетону та уявлення про транспортні явища (наприклад, потрапляння води та солей) у матеріал. Крім того, прогрес у моніторингу потенціалу без під'єднання до арматури як неруйнівний метод вимірювання показав свою ефективність. Тим не менш, об'єднання результатів як чисельних методів, так і методів НММ необхідне для сортування результатів, щоб забезпечити кращі дані про довговічність роботи ЗБ-структур.

Ключові слова: бетон, корозія, електричний моніторинг, неруйнівні методи, агресивні середовища, сталева арматура.

Introduction. Usage of the reinforced concrete (RC) mostly connected for its environmental applications in demand for strategical planning in construction of bridges, dams, powerplants etc [1–4]. Its workable flexibility allows to shape forms of the structural geo-wonders and maintain service orientation of the structures for planned purposes. Nevertheless, with time RC has tendency for degradation under the environmental influence. Mostly, main reasons of RC degradations occur under the influence of aggressive agents such as SO_4^{2-} , CO_2 , Cl^- , that infiltrate through the thickness of the concrete up to the rebar [5–9]. This leads to structural changes that crucially affects not only rebar but also lead to chemical changes in mineral compositions of cement binder of concrete which are devastating for construction capacity [9]. Several technics have been developed for understanding the mechanisms of degradation of RC, among them, electro-chemical [10]. This short review introduces the general knowledge to the mechanisms of cement corrosion (degradation) by influence of the aggressive environments and also processes that occur during RC corrosion and then emphasise on the advantages and drawbacks of the electrochemical monitoring.

1. Corrosion mechanisms in reinforced concrete

Most of the corrosion processes of the RC occur due to chemical-physical processes that take places during infusion of aggressive components from environment mostly as ion inclusion in water as for Cl^- and SO_4^{2-} , and by ingress of CO_2 , thus, resulting in progressive diffusion not only of the rebar protective layer in concrete, but also cause for the beginning of the chemical reactions that leads to mechanical deformation in matrix of concrete [10–12].

As stated in the works [13–14], the mechanism of rebar corrosion is mostly represented by electrochemical nature. That is considered, that passive state for steel corrosion to occur the current density must be below $0.1 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, and for the active state – over $1 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$. However, speed of rebar corrosion cannot be adapted as linear progression due to the chemical influence on the cement composition of the concrete. The process of the electrochemical reaction in concrete itself include anodic dissolution of iron and cathodic reduction of oxygen [13]. Presence of needed pH and availability of oxygen near the steel rebar may cause the process of the reduction of water/proton. Therefore, it is possible to achieve electrical connection between anode and cathode in presence of the electrolytic environment for transferring ions in the solution (Fig. 1).

Inclusion of SO_4^{2-} , CO_2 , Cl^- cause active state of corrosion in concrete. Not only they cause chemical transformations by creating semi- and fully soluble solutions with the cement compositions, such as: calcium hydrates, gypsum and hydro carbonates but also they are the main cause of acceleration of the rebar corrosion in active state [13]. Main aspects of corrosion mechanism graphically represented in fig. 2 and fig. 3 in work

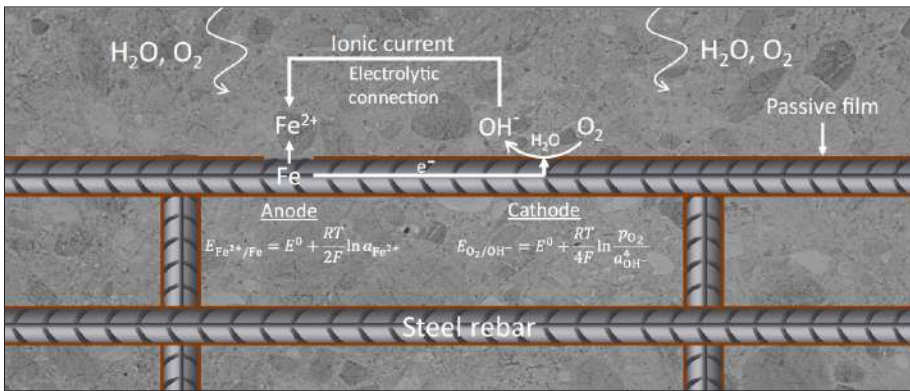


Fig. 1. Schematic representation of the corrosion of steel in concrete [13]

of authors [13]. For SO_4^{2-} environments, mechanisms of corrosion of the concrete are similar to the chloride induced environments [13–16]. Even though, environments that consist with SO_4^{2-} might have inclusions of weak presence of Cl⁻ that comes from both the environment and concrete itself due to the chemical modifications of the slurry for achieving additional physical-mechanical properties.

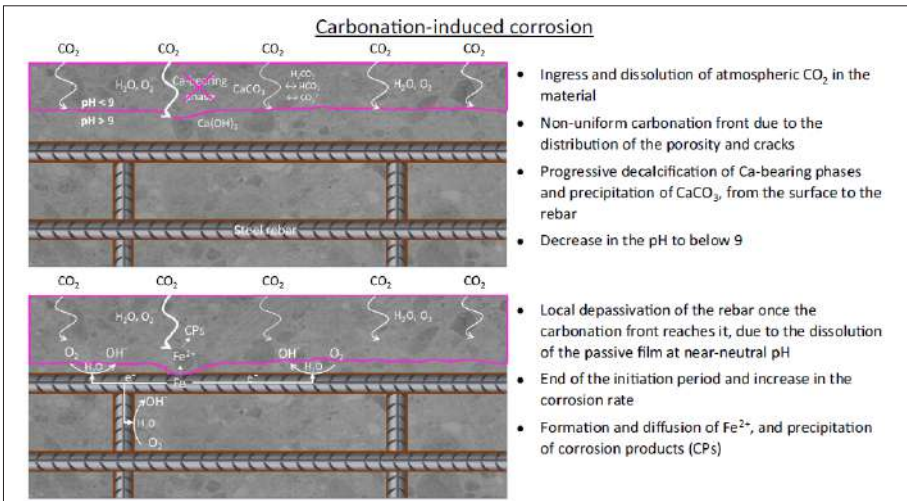


Fig. 2. Schematic representation of the carbonate induced corrosion in concrete [13]

Also, systematical inducing of aggressive components via moist through the thickness of concrete, as studied in the works of [17–18], the amount of impactful agents consistently changes due to the changes of the maintaining environment (i.e. rain, dry weather, high/low tides for sea constructions and etc.). Thus, as of the pH level in the system and its changeable ranges between high and low, this impact leads to the increase of hydration processes which leads also to exposure of the steel rebar. therefore, with lowering the pH – increase of speed of corrosion. Knowing all this changes and influences, it is consistent that both mechanical and chemical degradation

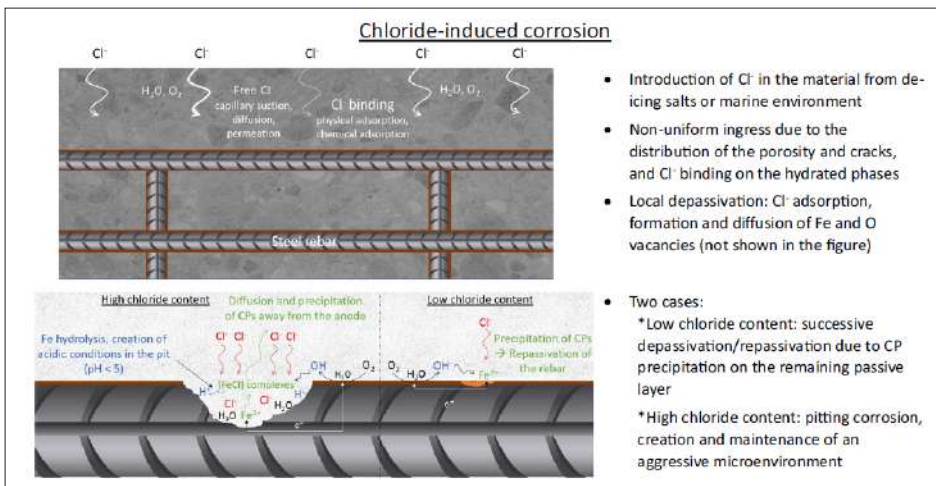


Fig. 3. Schematic representation of the chloride induced corrosion in concrete [13]

have place to occur in construction. Which is why to monitor stability of complex concrete constructions it is more preferable to use NDM methods to check on site without damaging the structure itself.

2. NDM electrical methods for monitoring of the corrosion rate

Most of the methods described in standards and generalized in works [13, 19–24] have their advantages and drawbacks that differently influence on the results of the received data.

Mostly emphasized monitoring technics are [13]:

- measurement of the corrosion potential;
- measurement of the concrete resistivity (by Wenner);
- measurement of the polarization resistance.

Those presented methods in general allow to emphasise directly to the corrosion rate of either rebar, concrete and monitor of the ingress rate of aggressive components from environment. Their advantages based on the:

- fast measurements;
- pointing out of the main defect point with high corrosion risk;
- providing of the insight on concrete durability;
- good agreement with gravimetric loss in case of active corrosion.

All of the methods based on the results that are provided by measurement tool consisted of two to four (sometimes five or more for advanced measurement technic [13]) electrodes. In the *measurement of the corrosion potential* electrodes placed one directly to the rebar and one on the wet sponge on the surface of concrete or embedded in the concrete. The drawbacks of the method are such that absolute value is highly affected by concrete conditions (geometry, resistivity, presence of cracks), composition of the pore solution (pH, chloride or sulphide content), the condition of the steel rebar (cathode-to-anode ratio), the availability of oxygen near the steel surface and environmental factors (RH, T).

Measurement of concrete resistivity is provided by injection of a direct or alternating current between the two outer electrodes and measurement of the resulting potential difference between the two inner electrodes. Usual monitoring parameters are values of

frequency range in between of $0.5 < f(\text{kHz}) < 10$. Despite the possibility of identification of main degradation points of structure, absolute value is highly affected by concrete conditions (geometry, resistivity, presence of cracks), composition of the pore solution, environmental factors (RH, T), and the presence of the rebar. Yet, it is possible to improve the results by implementing Electrical resistivity tomography (ERT) that will allow to consider accurately the inherent heterogeneity of concrete and to account for the rebar effect in the measurement.

Measurement of the polarization resistance allows to get the linear sweep voltammetry in the anodic or cathodic direction around the corrosion potential in the value parameters of the Sweep rate = 10 mV min^{-1} and $E_{corr} = \pm 10\text{--}20 \text{ mV}$. As in the measurement of the corrosion potential this method requires connectivity to the rebar. With visible advantages of this method, the challenging part is that sometimes measurements of the passive state of corrosion is overestimated. Therefore, slower sweep rate ($< 2.5 \text{ mV min}^{-1}$) must be used to improve the measurement of corrosion rate in this case [13].

Conclusions. Each of the methods presented in the review have potential of implementations of the onsite monitoring. Yet, combining of the non-destructive testing methods may in some way be challenging for the resulting values of the monitored indexes. Passive values of one method can be negative for others as in reverse which leads to complexing of the received results in both of passive state and active. Visual monitoring must be implemented when using NDT methods to identify both initiation stages and propagation stages of corrosion on the structures. Thus, with accurate and systematic monitoring of the corrosion stages and comparing the results with constant values and known initial data the accurate assessment of corrosion rate can be measured.

BIBLIOGRAPHY:

1. Mehta, P. Kumar, and Paulo JM Monteiro. Concrete: microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill Education, 2014. <https://doi.org/10.1036/0071462899>
2. F. Bart, C. Cau-di-Coumes, F. Frizon, S. Lorente, Cement-Based Materials for Nuclear Waste Storage, Springer, New York, New York, NY, 2013, <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3445-0>.
3. V. L'Hostis, R. Gens, Performance Assessment of Concrete Structures and Engineered Barriers for Nuclear Applications, Springer, Netherlands, Dordrecht, 2016, <https://doi.org/10.1007/978-94-024-0904-8>.
4. Identifying the influence of redispersed polymers on cement matrix properties / Y. Kovalenko et al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 4, no. 6(118). P. 38–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262438>
5. Broomfield, J. P. Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair. Crc Press. 2023 <https://doi.org/10.1680/coma.2008.161.3.135>
6. Ahmad, S. Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review. Cement and concrete composites, 2003, 25(4–5), 459–471. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00086-0).
7. Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E., & Polder, R. B. Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair. John Wiley & Sons., 2013, <https://search.iczhiku.com/paper/9zsdEmIltRikuI3i.pdf>
8. Poursaeed, A. Corrosion measurement and evaluation techniques of steel in concrete structures. In Corrosion of steel in concrete structures, 2023, (pp. 219–244). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821840-2.00027-4>
9. Angst, U. M. Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. Materials and Structures, 2018, 51, 1–20. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>

10. McCann, D. M., & Forde, M. C. Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *Ndt & E International*, 2001, 34(2), 71–84. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(00\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(00)00032-3)
 11. Luo, D., Li, Y., Li, J., Lim, K. S., Nazal, N. A. M., & Ahmad, H. A recent progress of steel bar corrosion diagnostic techniques in RC structures. *Sensors*, 2018, 19(1), 34. <https://doi.org/10.3390/s19010034>
 12. Andrade, C., & Martínez, I. Techniques for measuring the corrosion rate (polarization resistance) and the corrosion potential of reinforced concrete structures. In *Non-destructive evaluation of reinforced concrete structures*, 2010, pp. 284–316. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699604.2.284>
 13. Rodrigues, R., Gaboreau, S., Gance, J., Ignatiadis, I., & Betelu, S. Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring. *Construction and Building Materials*, 2021, 269, 121240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121240>
 14. François, R., Laurens, S., & Deby, F. Steel corrosion in reinforced concrete. Corrosion and its consequences for reinforced concrete structures. Elsevier, 2018, 1–41. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-234-2.50001-9>
 15. Stefanoni, M., Angst, U. M., & Elsener, B. Kinetics of electrochemical dissolution of metals in porous media. *Nature Materials*, 2019, 18(9), 942–947. <https://doi.org/10.1038/s41563-019-0439-8>
 16. Rossi, E., Polder, R., Copuroglu, O., Nijland, T., & Šavija, B. The influence of defects at the steel/concrete interface for chloride-induced pitting corrosion of naturally-deteriorated 20-years-old specimens studied through X-ray Computed Tomography. *Construction and Building Materials*, 2020, 235, 117474. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117474>
 17. Effect of environmental pH values on phase composition and microstructure of Portland cement paste under sulfate attack/G. Zhang et al. *Composites Part B: Engineering*. 2021. Vol. 216. P. 108862. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108862>
 18. Bertron A., Duchesne J., Escadeillas G. Accelerated tests of hardened cement pastes alteration by organic acids: analysis of the pH effect. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, no. 1. P. 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.009>
 19. Francois, R., Arliguie, G., & Bardy, D. Electrode potential measurements of concrete reinforcement for corrosion evaluation. *Cement and concrete research*, 1994, 24(3), 401–412. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90127-9](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90127-9)
 20. Reichling, K., & Raupach, M. Method to determine electrochemical potential gradients without reinforcement connection in concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 2014, 47, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.007>
 21. Garcia, S., & Deby, F. Numerical and experimental development of gradient potential measurement for corrosion detection in reinforced concrete. In *Service Life and Durability of Reinforced Concrete Structures: Selected Papers of the 8th International RILEM PhD Workshop held in Marne-la-Vallée, France, September, 2018*, 26–27, pp. 71–86. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90236-4_6
 22. Polder, R. B. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC-154 technical recommendation. *Construction and building materials*, 2001, 15(2–3), 125–131. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00061-1)
 23. Azarsa, P., & Gupta, R. Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>
 24. Rengaraju, S., Neelakantan, L., & Pillai, R. G. Investigation on the polarization resistance of steel embedded in highly resistive cementitious systems—An attempt and challenges. *Electrochimica Acta*, 2019, 308, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.200>
-

REFERENCES:

1. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1036/0071462899>
2. Bart, F., Cau-di-Coumes, C., Frizon, F., & Lorente, S. (Eds.). (2012). *Cement-based materials for nuclear waste storage*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3445-0>.
3. L'Hostis, V., & Gens, R. (2016). *Performance Assessment of Concrete Structures and Engineered Barriers for Nuclear Applications*. Springer, Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-0904-8>.
4. Kovalenko, Y., Tokarchuk, V., Kovalenko, S., & Vasylykevych, O. (2022). Identifying the influence of redispersed polymers on cement matrix properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 118(6). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262438>
5. Broomfield, J. P. (2023). *Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair*. Crc Press. <https://doi.org/10.1680/coma.2008.161.3.135>
6. Ahmad, S. (2003). Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction – a review. *Cement and concrete composites*, 25(4–5), 459–471. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00086-0).
7. Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E., & Polder, R. B. (2013). *Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair*. John Wiley & Sons. <https://search.iczhiku.com/paper/9zsdEmlltRikuI3i.pdf>
8. Poursaee, A. (2023). Corrosion measurement and evaluation techniques of steel in concrete structures. In *Corrosion of steel in concrete structures* (pp. 219–244). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821840-2.00027-4>
9. Angst, U. M. (2018). Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Materials and Structures*, 51, 1–20. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>
10. McCann, D. M., & Forde, M. C. (2001). Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *Ndt & E International*, 34(2), 71–84. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(00\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(00)00032-3)
11. Luo, D., Li, Y., Li, J., Lim, K. S., Nazal, N. A. M., & Ahmad, H. (2018). A recent progress of steel bar corrosion diagnostic techniques in RC structures. *Sensors*, 19(1), 34. <https://doi.org/10.3390/s19010034>
12. Andrade, C., & Martínez, I. (2010). Techniques for measuring the corrosion rate (polarization resistance) and the corrosion potential of reinforced concrete structures. In *Non-destructive evaluation of reinforced concrete structures* (pp. 284–316). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699604.2.284>
13. Rodrigues, R., Gaboreau, S., Gance, J., Ignatiadis, I., & Betelu, S. (2021). Reinforced concrete structures: A review of corrosion mechanisms and advances in electrical methods for corrosion monitoring. *Construction and Building Materials*, 269, 121240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121240>
14. François, R., Laurens, S., & Deby, F. (2018). Steel corrosion in reinforced concrete. Corrosion and its consequences for reinforced concrete structures. Elsevier, 1–41. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-234-2.50001-9>
15. Stefanoni, M., Angst, U. M., & Elsener, B. (2019). Kinetics of electrochemical dissolution of metals in porous media. *Nature Materials*, 18(9), 942–947. <https://doi.org/10.1038/s41563-019-0439-8>
16. Rossi, E., Polder, R., Copuroglu, O., Nijland, T., & Šavija, B. (2020). The influence of defects at the steel/concrete interface for chloride-induced pitting corrosion of naturally-deteriorated 20-years-old specimens studied through X-ray Computed Tomography. *Construction and Building Materials*, 235, 117474. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117474>
17. Zhang, G., Wu, C., Hou, D., Yang, J., Sun, D., & Zhang, X. (2021). Effect of environmental pH values on phase composition and microstructure of Portland cement

paste under sulfate attack. *Composites Part B: Engineering*, 216, 108862. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108862>

18. Bertron, A., Duchesne, J., & Escadeillas, G. (2005). Accelerated tests of hardened cement pastes alteration by organic acids: analysis of the pH effect. *Cement and Concrete Research*, 35(1), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.009>

19. Francois, R., Arliguie, G., & Bardy, D. (1994). Electrode potential measurements of concrete reinforcement for corrosion evaluation. *Cement and concrete research*, 24(3), 401-412. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90127-9](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90127-9)

20. Reichling, K., & Raupach, M. (2014). Method to determine electrochemical potential gradients without reinforcement connection in concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 47, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.007>

21. Garcia, S., & Deby, F. (2018, September). Numerical and experimental development of gradient potential measurement for corrosion detection in reinforced concrete. In *Service Life and Durability of Reinforced Concrete Structures: Selected Papers of the 8th International RILEM PhD Workshop held in Marne-la-Vallée, France, September 26–27, 2016* (pp. 71–86). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90236-4_6

22. Polder, R. B. (2001). Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC-154 technical recommendation. *Construction and building materials*, 15(2–3), 125–131. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00061-1)

23. Azarsa, P., & Gupta, R. (2017). Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>

24. Rengaraju, S., Neelakantan, L., & Pillai, R. G. (2019). Investigation on the polarization resistance of steel embedded in highly resistive cementitious systems—An attempt and challenges. *Electrochimica Acta*, 308, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.200>

УДК 624.151.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.24>

ТЕОРЕМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Чеканович М. Г. – кандидат технічних наук,
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109
Scopus-Author ID: 57192938389&

Проаналізовані відомі розрахункові положення будівельної практики. При цьому відзначається, що винайдення нових підходів, теорем для розрахунку конструкцій – це один із шляхів прогресу у будівництві. Впровадження нових теорем у розрахункову практику проєктування відкриває шлях до надійності в проєктуванні та ефективності будівельного сектору економіки.

Виходячи з базового поняття фізики, щодо обертального ефекту дії сил, доведемо, що можна знайти деформації і напруження в перерізі конструкції балки.

Момент сили, на відміну від згинального моменту, враховує обертальний ефект усіх сил відносно, розрахункової точки перерізу. Такий підхід до розрахунку базовий, фізично обґрунтований, зручний у користуванні і надійний для проєктної будівельної практики.

Автором запропоновано будувати епюру моментів сили не вздовж поздовжньої осі балки, як це прийнято для згинального моменту, а за висотою перерізу. Моменти сил, що діють відносно кожної з точок, що належать лінії перерізу, у своїй сукупності створюють епюру обертального моменту в перерізі. Такий підхід не має обмежень і такий переріз може бути зорієнтований вільно у будь-якому напрямку по відношенню до поздовжньої осі будівельної конструкції. В перспективі реалізації тривимірної моделі можливе визначення моментів обертання для усіх умовних точок масиву, що складають розрахунковий об'єкт або взагалі цілу конструкцію.

Сформульовано характерні положення, щодо правил побудови епюр моментів сил обертання.

Автором запропоновано теорему щодо визначення диференціалу функції обертального моменту сили за висотою перерізу.

Оскільки в запропонованому розрахунку момент сили втілює в собі два фактори – силу і момент, то і напруження, і деформації в перерізі можуть бути визначені через нього.

За результатами досліджень вперше одержимо децю спрощений вираз для визначення лінійних відносних деформацій і напружень в перерізі.

Підсумовуючи дійшли висновку, що запропонована теорема для розрахунку будівельних конструкцій у вигляді диференційної залежності моменту сили обертання за висотою перерізу для визначення поздовжньої сили в перерізі ефективна. За наслідками теорема визначено залежності для напружень та деформацій. Застосування теорема дозволяє перевірити існуючі розрахунки та виконати розрахункову частину для нового проєкту в будівництві.

Ключові слова: теорема, розрахунок, момент сили, обертання, диференціал, напруження, деформації.

Chekanovych M. H. Theorem for the calculation of building structures

The well-known calculation provisions of construction practice are analyzed. It is noted that the invention of new approaches and theorems for the calculation of structures is one of the ways of progress in construction. The introduction of new theorems into design practice opens a way to reliability in design and efficiency of the construction sector of the economy.

Based on the basic physics concept of the rotational effect of forces, we prove that it is possible to find deformations and stresses in the cross-section of a beam structure.

The force moment, in contrast to the bending moment, takes into account the rotational effect of all forces relative to the design point of the section. This approach to calculation is basic, physically sound, easy to use, and reliable for design engineering practice.

The author proposes to build a diagram of force moments not along the longitudinal axis of the beam, as is customary for the bending moment, but along the height of the section.

The moments of forces acting on each of the points belonging to the section line in their aggregate create a diagram of the rotational moment in the section. This approach has no restrictions and such a section can be oriented freely in any direction with respect to the longitudinal axis of the building structure. In the further implementation of a three-dimensional model it is possible to determine the torques for all conditional points of the array that make up the design volume or the entire structure.

The characteristic provisions concerning the rules for constructing diagrams of torque moments of rotational forces are formulated.

The author proposes a theorem for determining the differential of the function of the rotational force moment by the height of the section.

Since in the proposed calculation the force moment embodies two factors – force and moment – both stresses and strains in the section can be determined using it.

Based on the results of our research, we obtained a somewhat simplified expression for determining linear relative deformations and stresses in the section.

Summarizing, we conclude that the proposed theorem for the calculation of building structures in the form of a differential dependence of the moment of rotational force by the height of the section to determine the longitudinal force in the section is effective. Based on the consequences of the theorem, the dependencies for stresses and strains are determined. The application of the theorem makes it possible to verify existing calculations and perform the calculation part for a new construction project.

Key words: *theorem, calculation, moment of force, rotation, differential, stress, deformation.*

Вступ. Теоретичні основи розрахунку будівельних конструкцій створюють умови до їх удосконалення, раціонального використання будівельних матеріалів, сприяють підвищенню ефективності будівництва. Такі теорії виходять з фізичних законів трансформованих в теорію опору матеріалів, теоретичної і будівельної механіки та враховують практику і досвід будівництва [1–3].

Винайдення нових підходів, теорем для розрахунку конструкцій – це один із шляхів прогресу у будівництві [4–9]. Впровадження нових теорем у розрахункову практику проєктування відкриває шлях до надійності в проєктуванні та ефективності будівельного сектору економіки [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, в розрахунках конструкцій традиційно оперують умовним поняттям згинального моменту $M_{згин}$. Відносно перерізу площина дії згинального моменту розташована перпендикулярно. Результуючий згинальний момент в поперечному перерізі будівельної конструкції вважається рівним алгебраїчній сумі моментів розрахованих відносно точки центру ваги перерізу від зовнішніх сил, які діють по один бік від обраного перерізу [1, с. 114]. Згинальний момент можна представити як суму моментів усіх внутрішніх сил у поперечному перерізі відносно головних центральних його осей перерізу.

В теорії опору матеріалів для визначення опорних реакцій конструкцій пропонується виходити з іншого, більш загального поняття – моменту сили відносно точки M_r . В цьому разі сума моментів усіх сил відносно будь-якої точки конструкції балки в статиці дорівнює нулю: $\Sigma M_r = 0$ [2, с. 46].

Постановка проблеми. Виходячи з базового поняття фізики, щодо оберտального ефекту дії сил, доведемо, що можна знайти деформації і напруження в перерізі конструкції балки.

Момент сили, на відміну від згинального моменту, враховує обертальний ефект усіх сил відносно розрахункової точки перерізу [3, с. 47]. Такий підхід до розрахунку базовий, фізично обґрунтований, зручний у користуванні і надійний для проєктної будівельної практики.

Метою дослідження є визначення нової теореми, що дозволяє вести розрахунок будівельних елементів на основі моменту обертання сили в перерізі задля його спрощення і можливості визначення поздовжньої сили.

Виклад основного матеріалу дослідження. Представимо лінію перерізу плоскої моделі у вигляді множини послідовно розміщених точок. Для можливості розрахунку момент сили M_T визначається для кожної з точок, що утворюють лінію перерізу.

Автором запропоновано будувати епюру моментів сили M_T не вздовж поздовжньої осі балки, як це прийнято для згинального моменту $M_{згин.}$, а за висотою перерізу H . Моменти сил, що діють відносно кожної з точок, що належать лінії перерізу у своїй сукупності створюють епюру обертального моменту в перерізі. Такий підхід не має обмежень, і такий переріз може бути зорієнтований вільно у будь-якому напрямку по відношенню до поздовжньої осі будівельної конструкції. В перспективі реалізації тривимірної моделі можливе визначення моментів обертання для усіх умовних точок масиву, що складають розрахунковий об'єм або взагалі цілу конструкцію.

Сформулюємо характерні положення, щодо правил побудови епюр моментів сил обертання M_T .

1. Сили направлені паралельно площині перерізу створюють постійний за величиною обертальний момент в усіх точках лінії перерізу.

2. Сила направлена перпендикулярно площині перерізу створює нульовий момент обертання у точці її прикладання.

3. Сила направлена під вертикальним кутом до площини перерізу може бути розкладена як проекція на паралельну і перпендикулярну складові та обчислена з врахування пунктів 1 і 2, наведених вище.

4. Сила, що належить площині обраного перерізу не створює моменту.

5. Від дії зосереджених сил в перерізі сумарна епюра моментів сил обертання – лінійна.

Для побудови результуючої епюри моменту сили обертання M_T складають суму добутків сил зовнішнього навантаження і довжин їх плечей відносно точок перерізу, що розглядаються. Правило знаків можна прийняти як в теоретичній механіці – сили, що умовно обертаються відносно обраної розрахункової точки перерізу в напрямку за годинниковою стрілкою створюють від'ємний момент, а сили, що умовно обертаються проти ходу стрілки створюють додатний момент. Так як у нас епюра моментів сил обертання лінійна, тому достатньо визначити положення лише двох точок і з'єднати їх.

В принципі, для визначення напружень і деформацій в конструкції можна використати інтеграл Мора і правило Верещагіна для його обчислення. Для визначення деформацій і напружень в перерізі конструкції, маючи епюру від навантаження, необхідно побудувати фіктивні епюри моментів від одиничних сил. Тоді шляхом перемноження епюр моментів можна визначити деформації та напруження в поперечному перерізі конструкції.

За пропозицією автора *інтегрування* тут здійснюється *за висотою перерізу*, тому й при визначенні відносних деформацій *добуток моментів слід ділити у формулах на висоту перерізу*. Якщо в інтегралі Мора використати одиничну епюру моментів від зосередженої сили, то отримаємо лінійні деформації за напрямком дії одиничної сили, а у випадку застосування одиничного моменту – знайдемо кути повороту в точках перерізу.

Автором запропоновано теорему [10]:

Диференціал функції обертального моменту сили за висотою перерізу визначає силу направлену по нормалі до цього перерізу:

$$\frac{dM_T}{dh} = N \quad (1)$$

Для вертикального перерізу конструкції балки зазначений диференціал дає поздовжню силу.

Слід зазначити, що при традиційному розрахунку [11] використовують диференціювання іншого, більш складного параметра – згинального моменту за довжиною балки і отримують, на відміну від формули (2), поперечну силу. Крім того, деформації і напруження в перерізі залежать тут від величини поздовжньої сили і згинального моменту.

Оскільки в запропонованому розрахунку момент сили M_T втілює в собі обидва фактори, то напруження і деформації в перерізі можуть бути визначені через нього. Слід врахувати, що рівню центру ваги епюри навантажень відповідає рівень розташування нейтральної лінії в перерізі. Тут, чим менша площа епюри навантаження – Ω , тим менші і напруження й деформації в обраному перерізі. Цю особливість можна врахувати для визначення напружень і деформацій.

Скористаємося інтегралом Мора, застосовувавши метод перерізів. Умовно побудувавши сумарні епюри моменту сили відносно точок перерізу можна знайти напруження й деформації.

Величина напружень в перерізі конструкції може бути визначена за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{F_{red}} \pm \frac{M_{згин}}{I_{red}} y \quad (2)$$

Тут силові фактори N – поздовжня сила, $M_{згин}$ – сумарний згинальний момент, та геометричні параметри F і I – площа і момент інерції перерізу, y – рівень, для якого визначаються напруження.

Виходячи з закону Гука, відносні деформації ε можна визначити як частку від ділення напружень σ на приведений модуль деформацій E_{red} :

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{red}} \quad (3)$$

Виконаємо доведення на прикладі балки, що ті ж самі результати можна одержати, виходячи з запропонованого методу розрахунку, а саме сумарного моменту сил відносно точок, що належать лінії обраного перерізу.

За інтегралом Мора переміщення визначаються нормальною силою і згинальним моментом залежністю:

$$\delta = \int_1 \frac{N_p \bar{N}}{E F_{red}} dx + \int_1 \frac{M_{xp} \bar{M}_x}{E I_{red}} dx \quad (4)$$

Так, для балки за наведеною формулою знаходять прогини в прольоті та кути повороту її на опорах.

Для втілення запропонованої теореми пропонується змінити формулу (5) для визначення деформацій в поперечному перерізі балки. Для цього інтегрування будемо вести за висотою балки H , а не за її довжиною l . Також кардинально **змінимо вирази, які враховують окремо вплив нормальної сили N і згинального моменту $M_{згин}$ на запропонований вище загальний вираз моменту сили відносно точок, що належать обраному перерізу M_T** . В результаті вперше одержимо інший, дещо спрощений вираз для визначення лінійних відносних деформацій в перерізі:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{H} = \int_H \frac{M_{т.п} \bar{M}_h}{H E I_{red}} dh \quad (5)$$

Тут $M_{r,p}$ – обертальний момент сили від зовнішнього навантаження, M_h – обертальний момент сили від фіктивного одиничного навантаження, $E I_{red}$ – жорсткість.

Для конструкції з бетонним тілом можна врахувати повзучість бетону. Тоді одержимо:

$$\varepsilon = \int_H \frac{M_{r,p} \overline{M}_h}{H \varphi E I_{red}} dh \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує вплив ефекту повзучості бетону.

Якщо у формулі (7) за одиничне навантаження прийняти одиничний момент $m=1$, то одержимо вираз для кута повороту:

$$\theta = \int_H \frac{M_{r,p} \overline{M}_h}{H \varphi E I_{red}} dh \quad (7)$$

Тут діє передумова розрахунку, що перерізи плоскі як до навантаження, так і після його дії. Згідно гіпотези плоских перерізів, кути повороту для всіх точок перерізу, будуть постійні за величиною і рівні θ . Слід підкреслити, що згаданий переріз може бути орієнтований під будь-яким кутом і у будь-якому напрямку по відношенню до поздовжньої осі конструкції.

Для обчислення інтегралу застосуємо спосіб перемноження епюр Верещагіна, так як вони тут лінійні :

$$\int_H \frac{M_{r,p} \overline{M}_h}{H \varphi E I_{red}} dh = \frac{\Omega_r M_c}{H \varphi E I_{red}} \quad (8)$$

де Ω_r – площа епюри навантаження, M_c – значення моменту одиничної епюри в перерізі на рівні центру ваги епюри навантаження.

Визначити деформації та напруження у поперечному перерізі конструкції можна шляхом перемноження відповідних епюру моментів. Для множення епюр моментів найпоширеніших типів за рівнянням (6) можуть бути складені таблиці.

Для визначення напруження з формули (9) виключаємо модуль E і одержуємо рівняння:

$$\sigma = \frac{\Omega_r M_c}{H \varphi I_{red}} \quad (9)$$

Таким чином, виходячи з теореми про диференціал функції обертального моменту сили можна визначити напруження і деформації, застосувавши метод перерізу і побудувавши епюру повних силових моментів для точок перерізу.

Висновки і пропозиції. Запропонована теорема для розрахунку будівельних конструкцій у вигляді диференційної залежності моменту сили обертання за висою перерізу для визначення поздовжньої сили в перерізі ефективна. За її наслідками використання визначено залежності для напружень та деформацій. Застосування теореми дозволяє перевірити існуючі розрахунки та виконати розрахункову частину нового проекту в будівництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Степин П.А. Сопротивление материалов.-7-е изд. М.: Высш.шк.,1983. С. 114.
2. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. К.: Вища шк., 1993. С. 46.

3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. 8-е изд. М.: Наука, 1972, С. 47.
4. Leonhard F. "Spannbeton" für die Praxis. Wyd.3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 1973, 246 p.
5. Бабич Є.М., Бабич В.Є. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок: навчальний посібник/ Є.М. Бабич, В.Є. Бабич. 2-ге видання, перероблене і доповнене. Рівне: НУВГП, 2017. С. 19–62.
6. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels: CEN, 2004. P. 30–82.
7. Чеканович М. Г. Метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. С. 57–62.*
8. M Chekanovych Stress-Strain state of reinforced concrete beams strengthened with a flexible rod-roller system – AIP Conference Proceedings, 2023. С. 65–69.
9. High performance concrete structures/ M. Chekanovych //Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130–135.
10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 55568 України. Науково-технічний твір «Теореми про диференціальний зв'язок між обертальним моментом, поздовжньою силою та інтенсивністю розподіленого навантаження» / Автор – М. Г. Чеканович, Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 11.07.2014.
11. Розрахунок будівельних конструкцій: навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60–75.

REFERENCES:

1. Stepyн P.A. (1983) Soprotyvlenye materialov. 7-e yzd. M.: Vissh.shk., S. 114.
2. Pysarenko H.S., Kvitka O.L., Umanskiy E.S. (1993) Opir materialiv. K.: Vyshcha shk., S. 46.
3. Tarh S.M. (1972) Kratkyi kurs teoretycheskoi mekhanyky. 8-e yzd. M.: Nauka, S. 47.
4. Leonhard F. (1973) "Spannbeton" für die Praxis. Wyd. 3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 246 p.
5. Babych Ye.M., Babych V.Ie. (2017) Rozrakhunok i konstruiuvannya zalizobetonnykh balok: navchalnyi posibnyk/ Ye.M. Babych, V.Ie. Babych. 2-he vydannia, pereroblene i dopovnene. Rivne: NUVHP, S. 19–62.
6. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels: CEN, 2004. P. 30–82.
7. Chekanovych M. H. (2022) Metod poperednoho napruzhennia zalizobetonnykh konstruktsii, sheho pidvyshchuie yikh mitsnist. Tavriyskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky. Kherson : Vydavnychiy dim "Helvetyka", Vyp. 2. S. 57–62.
8. M. Chekanovych (2023) Stress-Strain state of reinforced concrete beams strengthened with a flexible rod-roller system – AIP Conference Proceedings. S. 65–69.
9. High performance concrete structures / M. Chekanovych //Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130–135.
10. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 55568 Ukrainy. Naukovo-tekhnichnyi tvir "Teoremy pro dyferentsialnyi zviazok mizh obertalnym momentom, pozdovzhnoiuy siloiu ta intensyvniustiu rozpodilenooho navantazhennia" / Avtor – M. H. Chekanovych, Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii 11.07.2014.
11. Rozrakhunok budivelnykh konstruktsii: navchalnyi posibnyk / M.H. Chekanovych, O.Ie. Yanin. Vydannia 2-he, dopovnene i pereroblene. Kherson: OLDI-PLIUS, 2021. S. 60–75. I. Leonhard F. "Spannbeton" für die Praxis. Wyd. 3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 1973, 246 p.

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	3
Бодашевський Д. Р., Потапова К. Р., Вовк Л. Б., Радченко К. О., Наливайчук М. В. Комбінований підхід до підвищення якості зображень з використанням бікубічної інтерполяції та фільтра Ланцоша	3
Вдовичин Т. Я., Білий Р. Т. Цифрові інструменти для організації ефективної комунікації освітнього процесу	15
Зайцев Є. О., Березниченко В. О., Панчик М. В., Антоненко А. В., Тонких О. Г. Впровадження технологій ІОТ в системах електропостачання промислових підприємств.....	23
Зубенко В. О., Березюк І. А., Волков І. В. Використання інформаційних технологій для оптимізації управління споживанням енергії	33
Іванюк В. І., Потапова К. Р., Наливайчук М. В., Гуріненко С. О., Вовк Л. Б. Система комп'ютерного зору автономних безпілотних підводних апаратів на базі модифікованого методу Sea-thru та нейромережі YOLO	40
Кірюшин В. О., Лемешко А. В., Антоненко А. В., Рябоконт О. О., Макаренко Є. О. Особливості функціональності DNS-сервера та DHCP-сервера	55
Paulin O. M., Komleva N. O., Nikitchenko M. I. Concept of building a library of tasks and solutions	65
Стовманенко В. О. Реалізація об'єктно-орієнтованої парадигми програмування мовою С.....	73
Хмілярчук Л. І., Бабич В. І., Плеша В. І., Артеменко А. В. Проблеми форматів імпорту навчальних матеріалів системи Moodle для освітніх компонент ІТ-напрямку	85
Хорошевська І. О., Лапіна А. А. Особливості розробки інтерфейсів для мобільних ігор	92
ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	100
Горач О. О., Полодюк Р. І. Використання лікарської рослинної сировини в технології виготовлення функціональних хлібобулочних виробів	100
Левченко М. В. Вплив температурного режиму охолодження на тривалість зберігання м'ясної сировини.....	108
Новікова Н. В., Фещук Ю. А., Заверуха О. В. Оптимізація технології виробництва м'ясного хліба.....	116
Пазюк В. М., Дуб В. В., Сєдих К. В. Фактори підвищення інтенсивності та енергоефективності сушіння зернових культур	123
Пешук Л. В., Приходько Д. Ю., Штик І. І. Вплив кавового маринаду на оптимізацію якісних показників м'ясних напівфабрикатів із дичини.....	131
Приліпко Т. М., Кузьмінська І. М. Вивчення недоліків фізичних методів оцінки якості продовольчої сировини і продуктів харчування.....	140

Резвих Н. І., Гладун В. В. Аналіз сучасних технологій виробництва кисломолочних функціональних продуктів.....	148
Резвих Н. І., Масюткін Р. А., Гладун В. В. Дослідження технологічних особливостей виробництва безсолевих хлібобулочних виробів дієтичного призначення.....	154
ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ	159
Кравченко В. І., Білоус Ю. В. Ефективність роботи споруд водовідведення міста Кропивницький	159
Литвиненко В. М. Покращання зворотних характеристик високовольтного варикапа при використанні гетерування.....	167
Мироненко І. М., Литвиненко В. В. Розрахунок стійкості схилів Одеського узбережжя	175
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ	184
Волошин М. М. Збір та використання дощової води як інноваційна технологія для застосування в господарських потребах.....	184
Kovalenko Yu. O. Basic methods of monitoring of corrosion processes of cement structures and their implementation for projecting of possible mineralogical changes in matrix composition: review	191
Чеканович М. Г. Теорема для розрахунку будівельних конструкцій	199

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY	3
Bodashevskiy D. R., Potapova K. P., Vovk L. B., Radchenko K. O., Nalyvaichuk M. V. A combined approach to improving image quality using bicubic interpolation and a Lanczos filter	4
Vdovychyn T. Ya., Bilyy R. T. Digital tools for organizing effective communication of the educational process	15
Zaitsev Ie. O., Bereznychenko V. O., Panchik M. V., Antonenko A. V., Tonkykh O. H. Implementation of IOT technologies in power supply systems of industrial enterprises.....	24
Zubenko V. O., Bereziuk I. A., Volkov I. V. The Use of information technologies for optimization of energy consumption management	34
Ivaniuk V. I., Potapova K. R., Nalyvaichuk M. V., Hurinenko S. O., Vovk L. B. Computer vision system of autonomous unmanned underwater vehicles based on modified Sea-thru method and YOLO neural network	41
Kiryushin V. O., Lemeshko A. V., Antonenko A. V., Riabokon O. O., Makarenko Ye. O. Features of functionality of DNS-server and DHCP-server.....	56
Paulin O. M., Komleva N. O., Nikitchenko M. I. Concept of building a library of tasks and solutions	65
Stovmanenko V. O. Object oriented paradigm implementation in C programming language.....	73
Khmilyarchuk L. I., Babych V. I., Plesha V. I., Artemenko A. V. Issues of import formats for educational materials in the Moodle system for IT-oriented educational components.....	86
Khoroshevska I. O., Lapina A. A. Features of the development of interfaces for mobile games.....	92
FOOD TECHNOLOGY	100
Gorach O. O., Polodyuk R. I. The use of medicinal plant raw materials in the technology of manufacturing functional bakery products	101
Levchenko M. V. The influence of the cooling temperature mode on the storage duration of meat.....	108
Novikova N. V., Feshchuk Yu. A., Zaverukha O. V. Optimization of meat bread production technology	116
Paziuk V. M., Dub V. V., Siedykh K. V. Factors for increasing the intensity and energy efficiency of grain drying	124
Peshuk L. V., Prykhodko D. Yu., Shtyk I. I. The influence of coffee marinade on the optimization of quality indicators of semi-finished game meat.	131
Prylipko T. M., Kuzminska I. M. Study of the shortcomings of physical methods of assessing the quality of food raw materials and food products	140
Rezvykh N. I., Gludun V. V. Analysis of modern production technologies functional dairy products	148

Rezvykh N. I., Masiutkin R. A., Gludun V. V. Study of the technological features of the production of salt-free bread products.....	154
HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES	159
Kravchenko V. I., Bilous Yu. V. Efficiency of work of water distribution facilities city of Kropyvnytsky.....	160
Lytvynenko V. M. Improvement of feedback characteristics of high voltage varicap using hetering	167
Mironenko I. M., Litvinenko V. V. Calculation of stability of slopes of the Odessa coast.....	175
CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING	184
Voloshyn M. M. Collection and use of rainwater as an innovative application technology in economic needs	184
Kovalenko Yu. O. Basic methods of monitoring of corrosion processes of cement structures and their implementation for projecting of possible mineralogical changes in matrix composition: review	191
Chekanovych M. H. Theorem for the calculation of building structures.....	199

НОТАТКИ

Таврійський науковий вісник

Випуск 5

Технічні науки

Підписано до друку 01.12.2023 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 17,06. Зам. № 0124/004

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
Україна, м. Одеса, 65101, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.