

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

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет



# Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 2



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

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

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету  
(протокол № 7 від 30.06.2023 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 2. 270 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 004.42:004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.1>

## УПРАВЛІННЯ ТРАНЗАКЦІЯМИ В МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ

---

*Бугасва І. Г. – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій  
імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-2839-9266*

*Розум М. В. – кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій  
імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-9459-8044*

*Ларін Д. Г. – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій  
імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0009-0006-4882-0683*

*Ткаченко М. Г. – кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій  
імені професора Р. В. Меркта  
Одеського національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-3166-2627*

*Використання мікросервісної архітектури є популярним підходом до розробки сучасних програмних систем. Мікросервіси застосовуються у великих Інтернет-проектах, які обслуговують значну кількість користувачів. Додатки з мікросервісною архітектурою мають багато переваг, таких, як висока доступність, відмовостійкість, гнучкість, масштабованість. Поряд з перевагами такого підходу існують і недоліки. У розподіленій системі, що складається з багатьох служб, управління транзакціями, що охоплюють*

---

кілька сервісів, є складним завданням. Оскільки мікросервіси слабо пов'язані між собою, а дані, що використовуються розподіленою транзакцією, зберігаються на різних вузлах у мережі, існує проблема узгодженості даних. Метою статті є дослідження способів управління транзакціями в мікросервісах та забезпечення узгодженості даних, виявлення переваг та недоліків застосування існуючих шаблонів проектування. У статті обговорюється використання протоколу двофазної фіксації 2PC і шаблону проектування Saga. 2PC – це надійний протокол узгодженості даних для мікросервісів. Але це форма синхронної взаємодії, в результаті якої служби зв'язуються під час виконання, що значно впливає на доступність додатку. Якщо висока доступність застосування є пріоритетною вимогою, то як основу для розробки краще вибрати шаблон проектування Saga. Він вирішує проблему виконання транзакцій, що охоплюють декілька сервісів. Для забезпечення узгодженості даних Saga використовується у поєднанні з патерном Event sourcing або Transactional Outbox. Використання шаблону саги на основі хореографії забезпечує вищу продуктивність сервісів порівняно з оркестрацією. Його краще використовувати для сценаріїв, у яких час відповіді критичний, кількість сервісів, що приймають участь у розподіленій транзакції, невелика. Шаблон на основі оркестрації повільніший за хореографію, але він є кращим вибором для обробки складних сценаріїв транзакцій.

**Ключові слова:** мікросервіси, мікросервісна архітектура, розподілені транзакції, узгодженість даних, двофазна фіксація, шаблон проектування Saga.

**Buhaieva I. H., Rozum M. V., Larin D. H., Tkachenko M. H. Transaction management in microservice architecture**

*The use of microservice architecture is a popular approach to the development of modern software systems. Microservices are used in large Internet projects serving a large number of users. Applications with microservice architecture have many advantages such as high availability, fault tolerance, flexibility, scalability. Along with the advantages, this approach also has disadvantages. In a distributed system consisting of many services, managing transactions spanning multiple services is a complex task. Since microservices are loosely coupled and the data used by a distributed transaction is stored on different nodes in the network, there is a problem of data consistency. The purpose of the article is to explore ways to manage transactions in microservices and ensure data consistency, identifying the advantages and disadvantages of applying existing design patterns. This article discusses the use of the 2PC two-phase commit protocol and the Saga design pattern. 2PC is a robust data consistency protocol for microservices. But it is a form of synchronous communication that results in microservices being coupled at runtime, which has a significant impact on the availability of the application. If high availability of the application is a priority requirement, then it is better to choose the Saga design pattern as a basis for development. It solves the problem of executing transactions spanning multiple services. To ensure data consistency, Saga is used in conjunction with the Event sourcing or Transactional Outbox pattern. Using the choreography-based saga pattern provides better service performance compared to orchestration. It is better to use it for scenarios in which response time is critical, the number of services involved in a distributed transaction is small. The orchestration-based pattern is slower than choreography, but is the best choice for handling complex transaction scenarios.*

**Key words:** microservices, microservice architecture, distributed transactions, data consistency, two-phase commit, Saga design pattern.

**Вступ.** Додаток з мікросервісною архітектурою є набором сервісів, що незалежно розгортаються, слабо пов'язані, організовані навколо потреб бізнесу [1; 2]. Екземпляри служб зазвичай запускаються на різних комп'ютерах, спілкуються один з одним шляхом обміну повідомленнями, використовуючи різні механізми, які забезпечують міжпроцесну взаємодію [3]. Хоча така розподілена архітектура має багато переваг (висока доступність, відмовостійкість, гнучкість, масштабованість), існують проблеми, пов'язані з управлінням транзакціями, що охоплюють кілька сервісів.

У традиційному монолітному додатку використання спільної реляційної бази даних забезпечує узгодженість даних за допомогою транзакцій, які задовільняють чотирьом вимогам ACID (атомарність, узгодженість, ізолюваність, стійкість) – стандартному набору властивостей, що гарантують надійність транзакцій.

В архітектурі мікросервісів служби мають власні сховища даних, які можуть бути реалізовані за допомогою різних технологій. Бізнес-транзакції можуть складатися з кількох локальних транзакцій у межах окремих служб. При виконанні такої розподіленої транзакції виникає проблема дотримання вимоги атомарності, яка гарантує, що жодна транзакція не буде зафіксована в системі частково. Будуть або завершені всі її локальні транзакції, або не виконано жодної. Взаємодія сервісів здійснюється через мережу, яка є ненадійною. У будь-який момент здійснення розподіленої транзакції може статися збій у роботі окремої служби. Необхідно це передбачити і мати можливість скасувати зміни даних, які вже було зафіксовано в сховищах даних інших сервісів, що приймають участь у цій транзакції.

**Метою статті** є дослідження способів управління транзакціями у додатках з мікросервісною архітектурою та забезпечення узгодженості даних в мікросервісах, виявлення переваг та недоліків різних підходів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідницька робота [3] була спрямована на вирішення таких питань: з'ясування проблем з розподіленими транзакціями в ізольованих базах даних NoSQL у мікросервісній архітектурі; проведення порівняльних тестів продуктивності додатків з застосуванням шаблону Saga на основі хореографії та оркестрації; вироблення рекомендацій щодо реалізації шаблону саги для різних варіантів використання.

Автори провели тести продуктивності застосувань, розроблених з використанням фреймворка Java Spring Boot, бази даних MongoDB та брокеру повідомлень ActiveMQ. Додатки було реалізовано за допомогою шаблону проєктування Saga на основі хореографії та оркестрації.

Результати тестів показали, що використання шаблону на основі хореографії забезпечує більшу продуктивність додатку порівняно з іншим підходом. Хореографія подій може добре підійти для сценаріїв, де кількість викликів мікросервісу обмежена, а час відповіді критичний. Шаблон на основі хореографії є рекомендованим підходом, коли кількість мікросервісів, що беруть участь у розподіленій транзакції, невелика. Додатки на основі оркестрації більш повільні, але цей шаблон є кращим у випадку, коли сценарії транзакцій є складними.

У роботі [4] досліджувалося, яку реалізацію шаблону саги, хореографію чи оркестрацію, слід використовувати за різних сценаріїв. Було розроблено дві моделі програми на основі мікросервісів з використанням Java Spring Boot, бази даних MySQL та брокера повідомлень Kafka. Служби розгорталися на Google Cloud Platform з використанням інструменту для розгортання, масштабування та управління контейнерними програмами Kubernetes. Програма JMeter використовувалася для проведення навантажувального тестування та порівняння продуктивності шаблонів хореографії та оркестрації. Дані збиралися шляхом моделювання транзакцій за участю кількох сервісів, і кожен параметр виміру записувався від початку транзакції до завершення.

Моделювання виконувалося з використанням різної кількості сервісів, задіяних у сазі (2, 4, 6 та 8). Було проведено експерименти щодо збільшення кількості користувачів, які проводять транзакції одночасно, починаючи з одного користувача, потім 100, 200, далі з кроком 100 до 1000 користувачів. Використовувалася також різна кількість екземплярів служб для порівняльного аналізу продуктивності двох моделей.

Продуктивність додатків оцінювалася шляхом вимірювання наступних параметрів – час відгуку, пропускна здатність та завантаження процесора. За результатами експериментів встановлено, що зі збільшенням кількості сервісів

та користувачів, які проводять транзакції одночасно, час відгуку обох моделей збільшується. Підхід «хореографія» має кращий час відгуку, ніж «оркестрація», і додавання кількості сервісів та користувачів більш впливає на цей показник при використанні шаблону оркестрації. Також хореографія сервісів забезпечує кращу пропускну здатність порівняно з оркестрацією, менше завантажує процесор.

При збільшенні кількості сервісів, що беруть участь у сазі, автори рекомендують використовувати шаблон Saga на основі оркестрації.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо використання різних шаблонів проектування для реалізації розподілених транзакцій у мікросервісах на прикладі замовлення подорожі, яке включає бронювання готелю та авіаквитків для перельоту. Три мікросервіси, кожен з яких має своє сховище даних, забезпечують цей функціонал. Сервіс замовлення подорожі надає API для взаємодії з користувачами. Після отримання запиту від клієнта ця служба має виконати запити до двох інших сервісів (рис. 1).

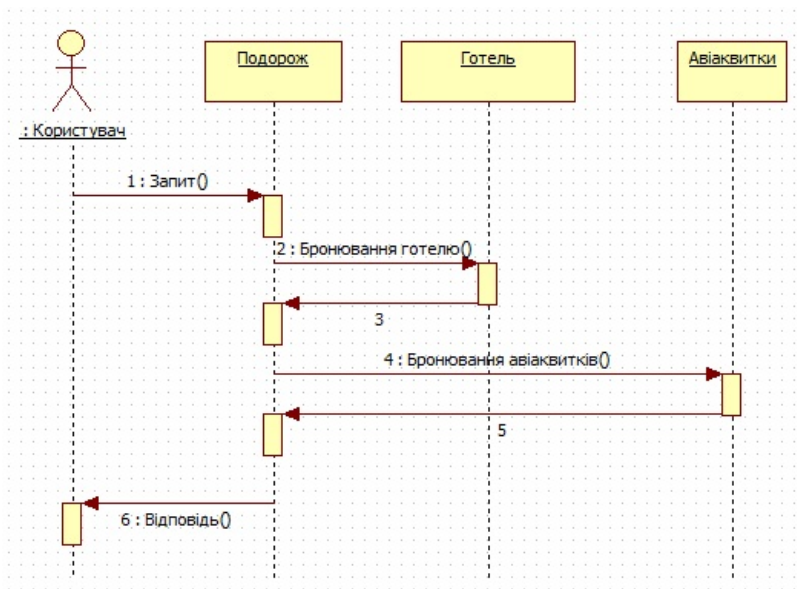


Рис. 1. Виконання запиту на замовлення подорожі

Бронювання готелю та авіаквитків повинно виконуватися як єдина транзакція. Система на основі мікросервісів за замовчуванням не має центрального координатора транзакцій. У наведеному вище прикладі, якщо у сервісі «Авіабілет» відбудеться збій, потрібен механізм для скасування змін даних, які відбулися в базі даних сервісу «Готель».

Розподілену транзакцію можна реалізувати двома способами: за допомогою протоколу двофазної фіксації (2PC) або шаблону проектування Saga.

Протокол 2PC гарантує, що при завершенні транзакції всі зміни, зроблені над усіма ресурсами, або повністю фіксуються, або повністю відкочуються [5]. У цьому шаблоні розподілена транзакція складається з двох кроків: етапу підготовки та етапу фіксації або відкату. Одним з учасників транзакції є координатор транзакції. На

першому етапі всі учасники транзакції готуються до фіксації та повідомляють координатору про те, що вони готові завершити транзакцію. На другому етапі координатор транзакції надсилає всім учасникам команду фіксації або відкату.

На рис. 2 наведено діаграму послідовності виконання розподіленої транзакції з використанням двофазної фіксації для випадку, коли на першому етапі обидва сервіси були готові завершити транзакцію. І всю транзакцію було завершено з успішним результатом.

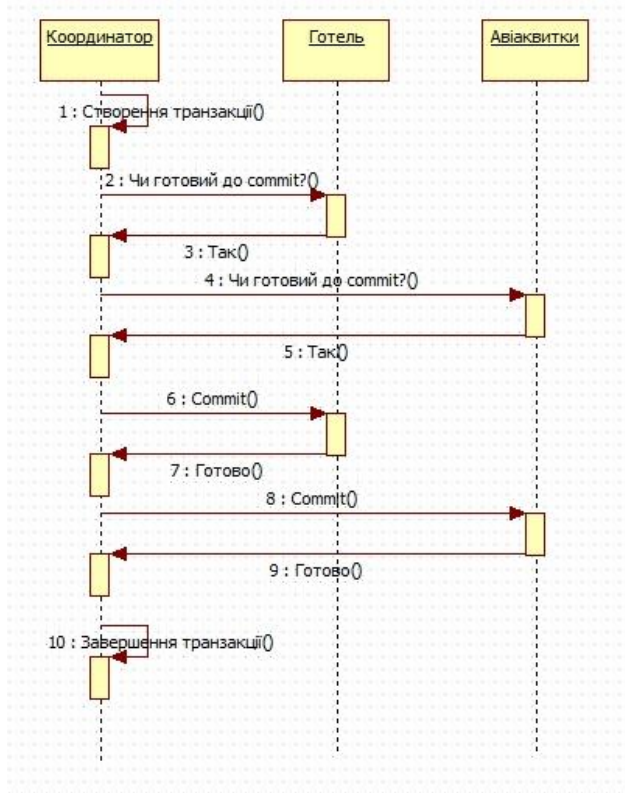


Рис. 2. Успішне виконання розподіленої транзакції з використанням двофазної фіксації

На рис. 3 представлений інший можливий варіант розвитку подій, коли на першому етапі транзакції сервіс «Авіаквитки» підтвердив, що він готовий виконати фіксацію змін, а від сервісу «Готель» було отримано негативну відповідь. Після цього координатор транзакції дав команду сервісу «Авіаквитки» виконати відкат.

Перевагою використання протоколу 2PC є те, що це дуже надійний протокол узгодженості. По-перше, фази підготовки та фіксації гарантують, що транзакція є атомарною. По-друге, 2PC дозволяє ізолювати читання-запис. Це означає, що зміни в полі даних не видно, доки координатор не зафіксує зміни.

Недоліки такого способу реалізації розподіленої транзакції:

- це форма синхронного зв'язку, що призводить до зв'язування мікросервісів під час виконання, що значно впливає на доступність додатку; якщо один з учасників виходить з ладу, система в цілому стає недоступною;

- вузол координатора транзакції може стати єдиною точкою відмови;
- можливі взаємоблокування між транзакціями;
- протокол 2PC не підтримується базами даних NoSQL.

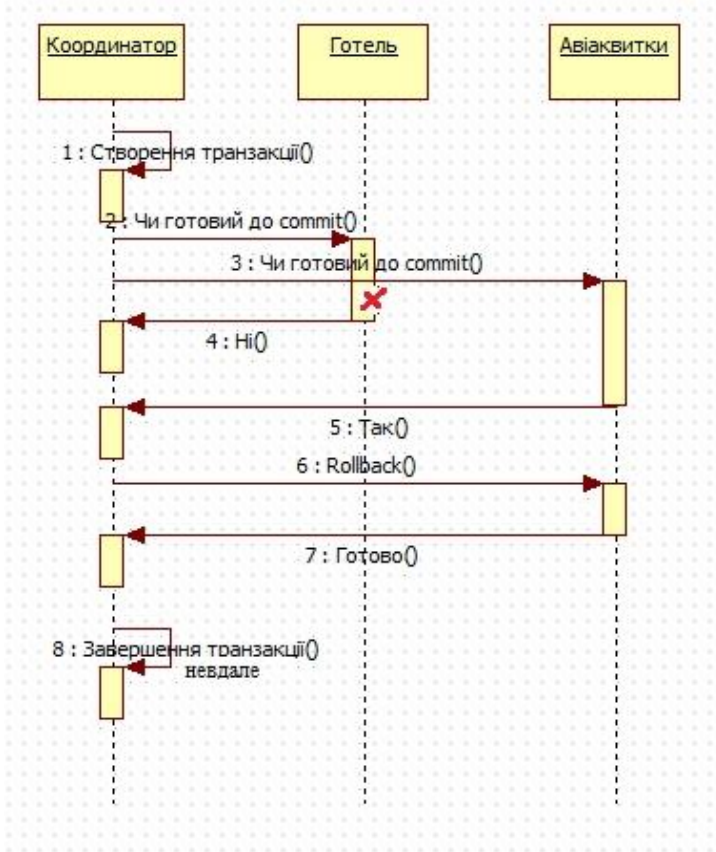


Рис. 3. Невдале виконання розподіленої транзакції з використанням двофазної фіксації

Інший підхід для управління транзакціями у мікросервісах полягає у використанні шаблону проєктування Saga [7]. Сага – це послідовність локальних транзакцій у кожній з служб, що беруть у ній участь. Кожна така транзакція оновлює базу даних сервісу та публікує повідомлення, щоб ініціювати наступну локальну транзакцію. Якщо якась з них зазнає невдачі, сага виконує серію компенсуючих транзакцій, які скасовують зміни, внесені попередніми локальними транзакціями. Кожен крок саги, за яким слідує крок, який може завершитися невдало, повинен мати відповідну компенсуючу транзакцію.

Є два типи саг: хореографія та оркестрація. Суть шаблону хореографії полягає в тому, що кожен мікросервіс приймає рішення про перебіг бізнес-транзакції, не покладаючись на центральну точку управління. Кожна локальна транзакція у службі публікує події, які запускають локальні транзакції на інших сервісах.



Нижче наведено діаграми, що ілюструють послідовність виконання локальних транзакцій у сервісах «Готель» та «Авіабілет», що беруть участь у сазі на основі хореографії. На рис. 4 представлено діаграму послідовності для варіанту успішного виконання транзакції, що охоплює сервіси «Готель» та «Авіаквитки».

При оновленні локальної бази даних у службі «Готель» публікується повідомлення, яке ініціює виконання локальної транзакції у наступному сервісі. Якщо сервісу «Авіаквитки» не вдалося виконати необхідні операції, то сервіс «Готель» повинен запустити компенсуючу транзакцію (рис. 5).

У шаблоні Saga на основі оркестрації мікросервіси, що беруть участь, не взаємодіють безпосередньо один з одним. Натомість є сервіс-оркестратор, який відповідає за управління загальним станом транзакції. На рис. 6 наведено діаграму послідовності успішного виконання розподіленої транзакції.

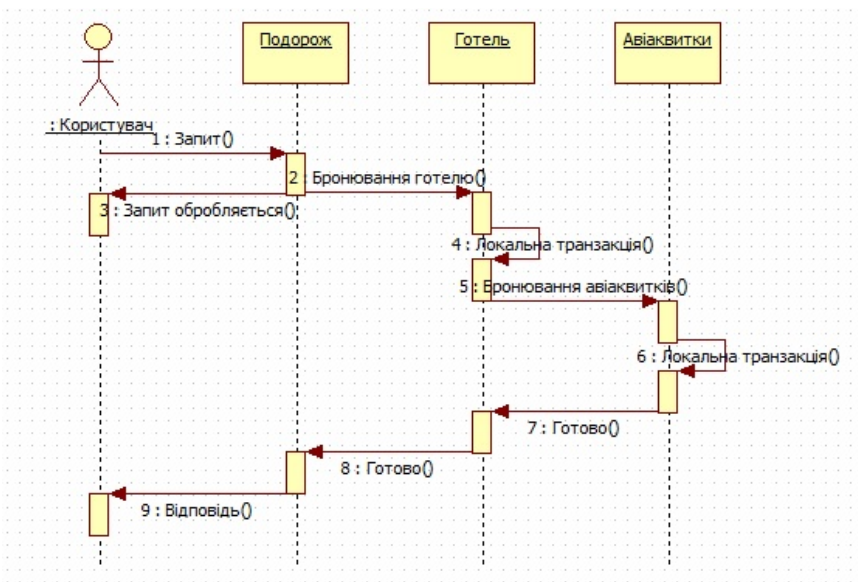


Рис. 4. Успішне виконання розподіленої транзакції з використанням шаблону Saga на основі хореографії

У разі збою при виконанні локальної транзакції у сервісі «Авіаквитки» оркестратор відправляє команду сервісу «Готель» виконати компенсуючу транзакцію (рис. 7).

З використанням шаблону Saga виникає проблема забезпечення узгодженості даних у сервісах. У межах своєї бізнес-логіки мікросервіси часто оновлюють свої локальні сховища даних. Одночасно їм потрібно повідомляти про зміни, що відбулися, іншим службам. Без використання протоколу 2PC виконання цих двох операцій у межах однієї транзакції не гарантовано. Сервіс може вийти з ладу на будь-якому з цих етапів. Але база даних або брокер повідомлень, який використовується для публікування повідомлень, можуть не підтримувати протокол двофазної фіксації. Для вирішення проблеми атомарного оновлення стану об'єкта та надсилання повідомлень повинен застосовуватися один з наступних шаблонів – Event sourcing або Transactional Outbox.

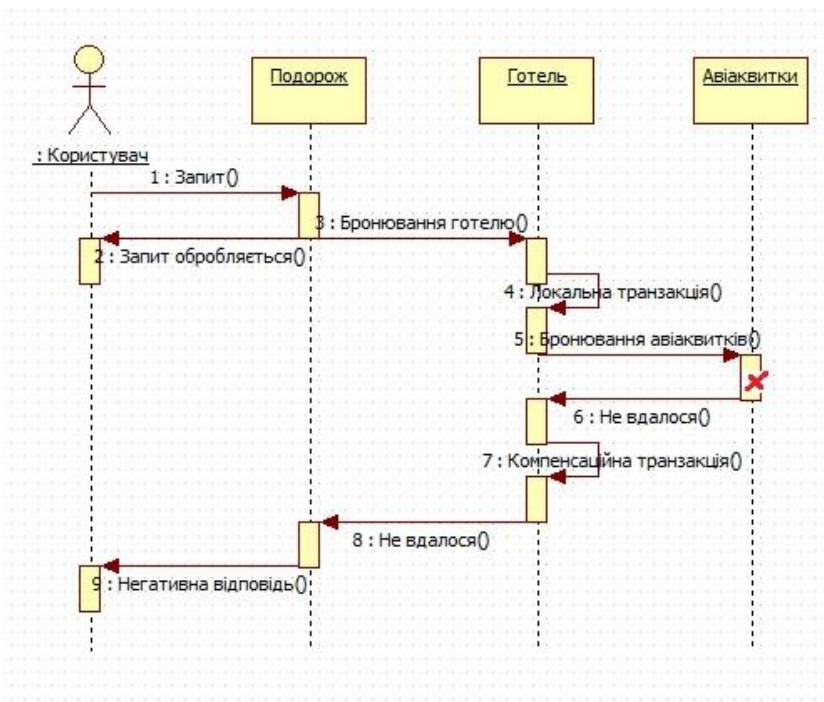


Рис. 5. Невдале виконання розподіленої транзакції з використанням шаблону Saga на основі хореографії

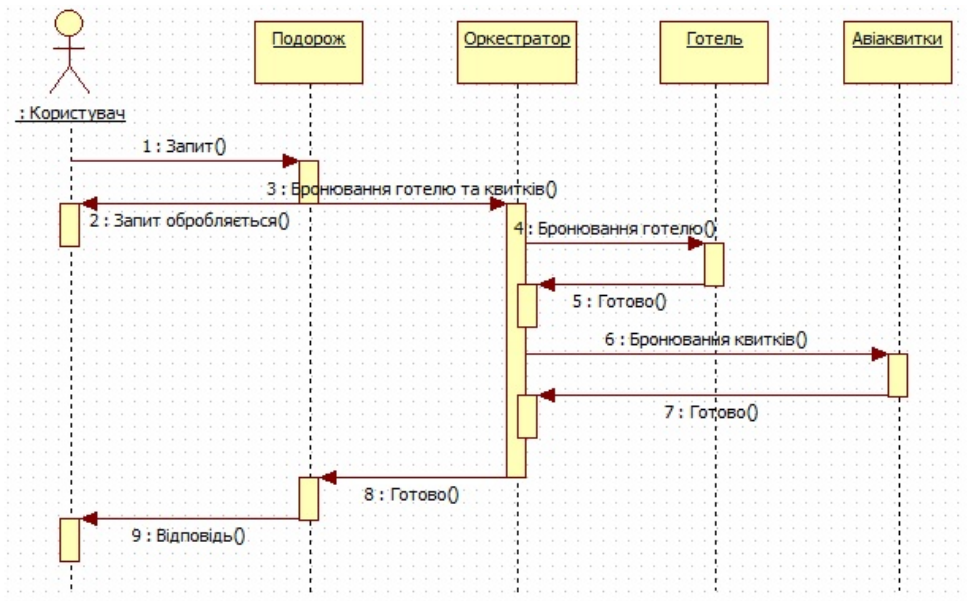


Рис. 6. Успішне виконання розподіленої транзакції з використанням шаблону Saga на основі оркестрації

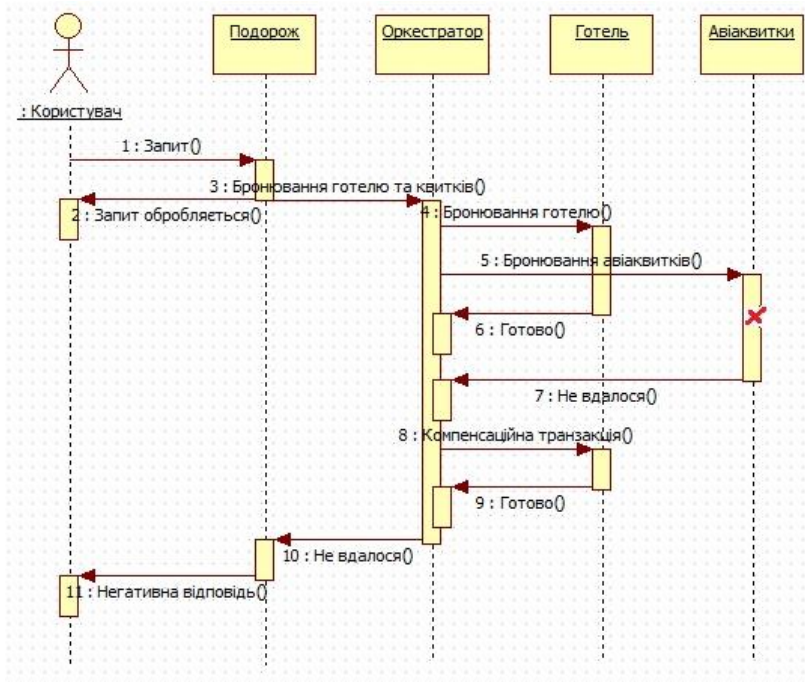


Рис. 7. Невдале виконання розподіленої транзакції з використанням шаблону Saga на основі оркестрації

У разі використання шаблону Outbox мікросервіс, що використовує реляційну базу даних, виконує додавання повідомлення в таблицю вихідних повідомлень Outbox як частину локальної транзакції під час оновлення бази даних. Служба, яка використовує базу даних NoSQL, додає повідомлення до атрибута запису, що оновлюється. Потім окремих процес ретрансляції повідомлень зчитує їх з таблиці Outbox та публікує у брокер повідомлень, який повинен бути опитаний наступною службою, яка є учасником саги. Шаблон Outbox використовується разом з Debezium – сервісом для захоплення змін у базах даних (Change Data Capture) та надсилання їх на обробку іншим системам. Debezium заснований на Apache Kafka, що дозволяє використовувати переваги цієї платформи – стійкість до відмов, масштабованість та надійна обробка великих обсягів даних у реальному часі.

На рис. 8 схематично представлений процес запису даних у рамках однієї локальної транзакції у таблиці Hotels та Outbox бази даних сервісу «Готель». Сервіс Debezium зчитує дані з таблиці Outbox та відправляє їх до брокеру повідомлень Kafka. Сервіс «Авіаквитки» опитує брокер і з появою нових повідомлень оновлює свою базу даних.

Шаблон Transactional Outbox має такі переваги:

- повідомлення гарантовано надсилаються тоді і лише тоді, коли транзакція бази даних фіксується;
- повідомлення надсилаються брокеру повідомлень у порядку, в якому вони були надіслані додатком.

Інший спосіб вирішення проблеми атомарного оновлення стану об'єкта та публікації подій – використання шаблону Event sourcing. Він зберігає стан

бізнес-об'єкта як послідовність подій. Програма може відновити стан об'єкта, відтворюючи події. Події зберігаються у сховищі, яке є базою даних і поводить себе як брокер повідомлень (рис. 9). Воно надає API, який дозволяє службам підписуватися на події. Коли сервіс зберігає подію у такому сховищі, вона доставляється всім зацікавленим передплатникам.

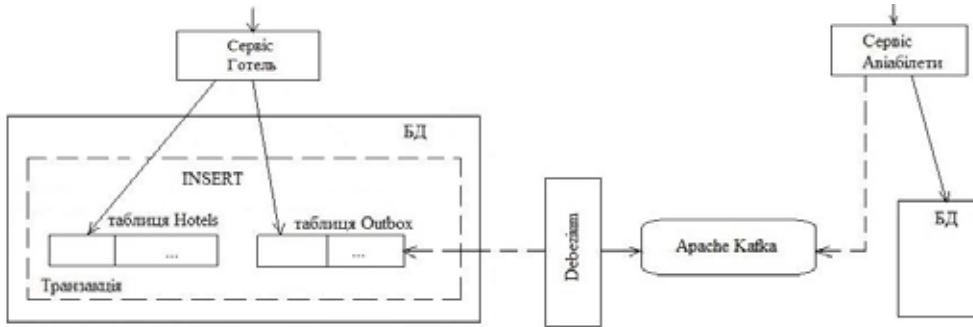


Рис. 8. Використання шаблону Outbox для забезпечення узгодженості даних у сервісах

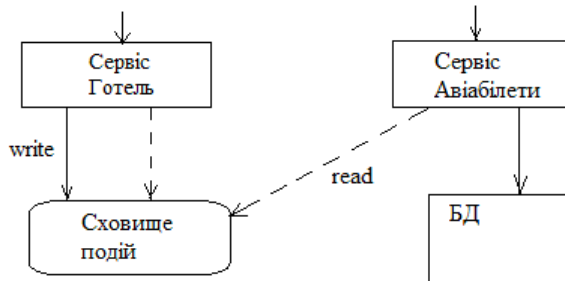


Рис. 9. Використання шаблону Event sourcing для забезпечення узгодженості даних

Шаблон Event sourcing дозволяє надійно публікувати події при кожній зміні стану бізнес-об'єкта.

**Висновки.** У статті розглянуто два основні підходи в реалізації управління розподіленими транзакціями у додатках з мікросервісною архітектурою: використання протоколу двофазної фіксації 2PC та шаблону проектування Saga.

2PC є надійним протоколом узгодженості даних у мікросервісах. Але це форма синхронного зв'язку, що призводить до зв'язування мікросервісів під час виконання, що значно впливає на доступність додатку.

Якщо пріоритетною вимогою є висока доступність застосування, то краще обрати як основу для розробки шаблон проектування Saga. Він вирішує проблему виконання транзакцій, що охоплюють декілька сервісів. Для забезпечення узгодженості даних Saga використовується разом з одним з шаблонів – Event sourcing або Transactional Outbox. До переваг шаблону Saga належить також підтримка довготривалих транзакцій. Під час виконання транзакції інші служби не блокуються, якщо одна з них працює протягом тривалого часу. До недоліків слід

віднести складнішу модель програмування. Шаблон Saga важко налагоджувати, і складність зростає зі збільшенням числа мікросервісів, що беруть участь у розподіленій транзакції.

Використання шаблону саги на основі хореографії забезпечує більш високу продуктивність сервісів порівняно з оркестрацією. Його краще застосовувати для сценаріїв, в яких час відповіді критичний, кількість сервісів, що беруть участь у розподіленій транзакції, невелика. Шаблон на основі оркестрації повільніший за хореографію, але він є найкращим вибором для обробки складних сценаріїв транзакцій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Richardson Ch. *Microservices patterns*. Manning Publications, 2019. 520 p.
2. Newman S. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media, 2015. 280 p.
3. Бугаєва І.Г., Розум М.В. Реалізація міжпроцесної взаємодії в мікросервісній архітектурі. *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*. 2022. № 1(67). С. 81–89.
4. Rudrabhatla Ch. K. Comparison of Event Choreography and Orchestration Techniques in Microservice Architecture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2018. Vol. 9, No. 8.
5. Kristianto H., Zahra A. Performance analysis of choreography and orchestration in microservices architecture. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2021. Vol. 99, No.18.
6. Harding R., Aken D. V., Pavlo A., Stonebraker M. An Evaluation of Distributed Concurrency Control. *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2017. Vol. 10, No. 5.
7. Garcia-Molina H., Salem K. SAGAS. *Proceedings of the 1987 ACM SIGMOD international conference on Management of data*. 1987. P. 249–259.

### REFERENCES:

1. Richardson, Ch. (2019). *Microservices Patterns*. Manning Publications, 520.
2. Newman, S. (2015). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media, 280.
3. Buhaieva, I.G., Rozum, M.V. (2022). Realizatsiia mizhprotsesnoi vziaimodii v mikroservisnii arkhitekturi [Implementing interprocess communication in microservice architecture]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu – Herald of the Odessa national maritime university*, 1(67), 81–89 [in Ukrainian].
4. Rudrabhatla, Ch. K. (2018). Comparison of Event Choreography and Orchestration Techniques in Microservice Architecture. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(8).
5. Kristianto, H., Zahra, A. (2021). Performance analysis of choreography and orchestration in microservices architecture. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(18).
6. Harding, R., Aken, D. V., Pavlo, A., Stonebraker, M. (2017). An Evaluation of Distributed Concurrency Control. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 10(5).
7. Garcia-Molina, H., Salem, K. (1987). SAGAS. *Proceedings of the 1987 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, 249–259.

УДК 628.94

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.2>

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ ПРИБАДАМИ

**Гайдай Г. Ю.** – кандидат технічних наук,

доцент кафедри морського приладобудування

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

ORCID ID: 0000-0002-7454-8007

**Грешнов А. Ю.** – доцент кафедри морського приладобудування

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

ORCID ID: 0000-0002-9350-1554

У статті розглянуто вдосконалення світлодіодного світильника, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту. Запропонований світлодіодний світильник створено з метою: підвищення коефіцієнту корисної дії освітлювального приладу; зниження рівня споживання електричної енергії даним приладом; дистанційне керування роботою світлодіодного освітлювального приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності приладу. Даний світлодіодний світильник відноситься до типу стельових світильників з пасивним охолодженням. Корпус світильника виготовлено з алюмінію, конструкція та габарити якого визначені таким чином, щоб забезпечити тривалу роботу в літній період часу без перегріву світлодіодних елементів. Керування роботою та моніторинг параметрів здійснюється за допомогою бездротового інтерфейсу "Bluetooth". Запропонована конструкція світлодіодного світильника має наступні переваги: функціонування кожної матриці контролюється власним драйвером, який враховує її унікальні робочі характеристики для забезпечення оптимальних параметрів; постійний контроль температурних параметрів та захист від перегріву, що суттєво подовжує термін функціонування матриці; постійний контроль струму та напруги живлення матриці; можливість керувати потужністю як всього світильника так і кожної матриці окремо; поєднання плати контролера і матриці світлодіода; можливість комбінувати різні типи світлодіодів у межах одного світильника; підтримка різних інтерфейсів у відповідності до вимог користувача; постійний контроль параметрів та виявлення помилок. Розроблено концепцію вдосконаленого світлодіодного світильника з розширеними інформаційними властивостями на базі мікроконтролера STM32, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами.

**Ключові слова:** світлодіодна матриця, головний контролер, комунікаційний інтерфейс, електрична схема, мікроконтролер.

### **Haidai H. Yu., Hreshnov A. Yu. Increasing the efficiency level in the use of electrical energy by lighting devices**

The improvement of the LED lamp, which has an increased level of efficiency in the use of electrical energy by lighting devices by implementing direct adaptive control of the current lighting power in accordance with the needs of each specific lighting area of the object, was considered in the article. The proposed LED lamp was created for the purpose of: increasing the efficiency of the LED lighting device; reduction of electrical energy level consumed by the lighting device; remote control of LED lighting according to user algorithms; increasing the reliability of the LED lighting device. This LED lamp belongs to the type of ceiling lamps with passive cooling. The body of the lamp is made of aluminum, the design and dimensions of which are determined in such a way as to ensure long-term operation in the summer without overheating of the LED elements. Control of work and monitoring of parameters is carried out using a wireless interface "Bluetooth". The proposed design of the LED lamp has the following advantages: the operation of each matrix is controlled by its own driver, which takes into account its unique operating characteristics to ensure optimal parameters; constant control of temperature parameters and protection against overheating, which significantly extends the life of the matrix;

*constant control of the matrix power supply current and voltage; the ability to control the power of both the entire lamp and each matrix separately; combination of the controller board and the LED matrix; the ability to combine different types of LEDs within one lamp; support of various interfaces in accordance with user requirements; constant monitoring of parameters and detected errors. The concept of an improved LED lamp with advanced information properties based on the STM32 microcontroller, which has an increased level of efficiency in the use of electrical energy by lighting devices, was developed.*

**Key words:** LED matrix, main controller, communication interface, electric circuit, microcontroller.

**Постановка проблеми.** На теперішній час великої актуальності набуває рух, спрямований на зниження споживання енергоресурсів та підвищення ефективності їх використання [1]. Відкриття наприкінці XX сторіччя синього світлодіода спричинило новий виток розвитку систем освітлення. У порівнянні із застарілими лампами розжарювання та небезпечними, через наявність в них ртуті, люмінесцентними лампами, світлодіоди стають лідерами у співвідношенні ефективності використання споживаної енергії, зручності використання та екологічності до собівартості. При цьому існуючі системи, які присутні на світових ринках освітлювальних систем, у базовому варіанті, без придбання додаткового обладнання та програмного забезпечення, не надають можливості споживачу адаптивно керувати параметрами їх роботи. Тому необхідне вдосконалення світлодіодних світильників таким чином, щоб максимально ефективно, без збільшення додаткових витрат використовувати енергоресурси, гнучко змінюючи робочі параметри відповідно до вимог кожного споживача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Світлодіодне освітлення з моменту свого виникнення пройшло довгий період удосконалення, в результаті якого ми маємо сучасні LED світильники [2]. Вони відрізняються високою якістю світлового потоку, економічністю та ефективністю, тому поступово витісняють інші джерела світла. І це не дивно, адже заміна звичайних ламп на світлодіодні веде до зниження витрат на електрику приблизно на 70 % навіть у цілодобовому режимі роботи. А враховуючи постійне зростання тарифів на електроенергію, то таке економічно вигідне освітлення є ідеальним варіантом для використання в промислових масштабах [3].

Вдосконалення конструкції світлодіодів та подальше зниження собівартості одиничного виробу у масовому виробництві забезпечило світлодіодам лідируючу позицію серед інших освітлювальних приладів. Однак, слід зауважити, що світлодіод, у порівнянні з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами, вимагає більш складних джерел живлення та дотримання певних експлуатаційних режимів для забезпечення оптимальних робочих параметрів. Але якщо порівняти системи такого роду за рівнем складності, то отримуємо наступне [4].

Прості системи мають найменшу, у порівнянні з іншими системами, вартість, однак не реалізують повністю потенціал енергозбереження світлодіодів. Враховуючи їх просту схему керування живленням світлодіодів, то під час роботи не забезпечується дотримання оптимальних режимів і суттєво зменшується коефіцієнт корисної дії світлодіодів.

Системи середнього рівня складності забезпечують високій рівень ефективності споживання електроенергії та можливість гнучко керувати режимами роботи відповідно до вимог споживача. Однак, така гнучкість забезпечується лише при наявності концентраторів та окремого сервера, що, в свою чергу, суттєво збільшує вартість системи. Встановлення такої системи доцільно лише на промислових об'єктах великої площі.

Високорівневі системи забезпечують найбільшу ефективність споживання електроенергії, можуть бути масштабовані протягом експлуатації системи, мати розширений функціонал з додаванням нових датчиків та виконавчих пристроїв. Як і у систем середнього рівня складності, архітектура високорівневих систем складається з концентраторів та окремого сервера. При цьому вартість впровадження та експлуатації, модифікація програмного забезпечення відповідно до вимог замовника передбачає впровадження лише у складі великих комерційних проектів.

Таким чином, світлодіодні світильники, що належать до перерахованих вище систем, різняться за своїми параметрами, але жодний з них не забезпечує можливість автономної децентралізованої роботи з контролем робочих параметрів та дистанційним налаштуванням робочих режимів. Це, в свою чергу, не дозволяє повністю використовувати усі притаманні світлодіодам властивості щодо ефективності використання електроенергії.

**Постановка задачі.** Метою статті є розробка вдосконаленого світлодіодного світильника, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Запропонований світлодіодний світильник створюється з метою: підвищення коефіцієнту корисної дії світлодіодного освітлювального приладу; зниження рівня споживання електричної енергії; дистанційне керування роботою світлодіодного освітлювального приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності; зменшення часу, необхідного для виконання ремонту світлодіодного освітлювального приладу.

Даний світлодіодний світильник відноситься до типу стельових світильників з пасивним охолодженням. Корпус світильника виготовлено з алюмінію, конструкція та габарити якого визначені таким чином, щоб забезпечити тривалу роботу в літній період часу (або у приміщенні з підвищеною температурою) без перегріву світлодіодних елементів. Керування роботою та моніторинг параметрів здійснюється за допомогою бездротового інтерфейсу "Bluetooth".

Функціональна схема системи, яку наведено на рис. 1, забезпечує: зберігання можливості нарощування функцій керування; побудову на базі уніфікованих комплексів, що дає значні переваги при монтажі, налагодженні, експлуатації і ремонті. Мікроконтролер є високопродуктивним ядром ARM Cortex-M0 RISC 32 біта з частотою 48МГц, високошвидкісною пам'яттю і широким вибором периферії і I/O [5].

До складу функціональної схеми головного контролера, яку наведено на рис. 2, входять: контролер STM32F030F4P6; Bluetooth радіо-модуль HM-10; батарейка CR2032; стабілізатор напруги 12V, 3V3; перемикач вибору режимів роботи; світлодіоди індикації статусу зв'язку; вхідний-вихідний буфер обміну даними з контролерами світлодіодів.

Загальна концепція запропонованого світильника полягає у підвищенні гнучкості роботи та контролі параметрів без використання додаткових концентраторів або/чи серверів шляхом побудови дворівневої системи всередині світильника зі збільшенням інтелектуального функціоналу. Тобто світильник вже не є простим освітлювальним засобом, відмінність якого від інших полягає лише у тому, що використано світлодіоди, а стає інтелектуальною системою з контролем робочих параметрів та інтерфейсом типу «людина-машина». Це дозволяє динамічно та максимально гнучко налаштувати робочі параметри відповідно до вимог споживача



та може призвести до суттєвого скорочення витрат, пов'язаних з впровадженням системи та її подальшої експлуатації.

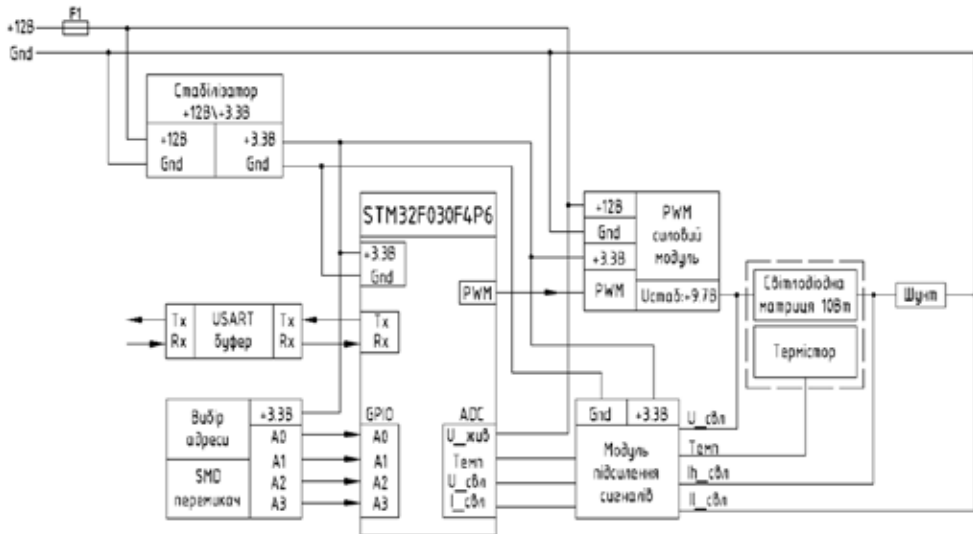


Рис. 1. Функціональна схема системи

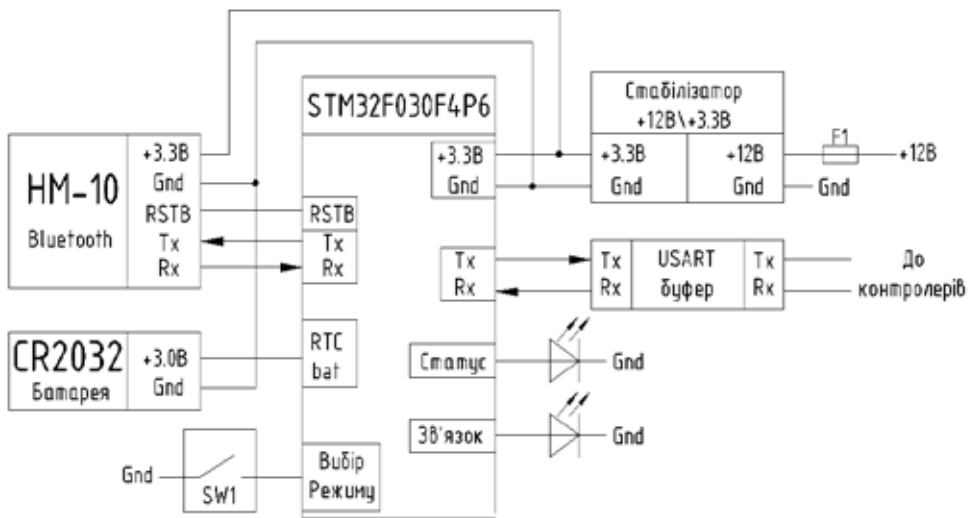


Рис. 2. Функціональна схема головного контролеру

Іншою особливістю даного освітлювального приладу є використання світлодіодних матриць замість масиву окремих світлодіодів [2]. Оскільки останні у світлодіодній матриці розташовані на одній загальній основі та сформовані на ній майже одночасно, то це дозволяє досягти майже ідентичності їх робочих параметрів.

Запропонована конструкція світлодіодного світильника є значно складнішою на відміну від інших, але має наступні переваги:

- функціонування кожної матриці контролюється власним драйвером, який враховує її унікальні робочі параметри для забезпечення оптимальних параметрів та найвищого коефіцієнту корисної дії;
- постійний контроль температурних параметрів та захист від перегріву, що суттєво подовжує термін функціонування матриці;
- постійний контроль струму та напруги живлення матриці, тобто вихід з ладу однієї з матриць не спричиняє припинення функціонування всього світильника;
- можливість керувати потужністю як всього світильника так і кожної матриці окремо;
- поєднання плати контролера і матриці світлодіода забезпечує модульну заміну у разі виходу з ладу драйвера/матриці чи модернізації світильника;
- можливість комбінувати різні типи світлодіодів (RGB, температура кольору світла) у межах одного світильника;
- підтримка різних інтерфейсів у відповідності до вимог користувача;
- постійний контроль параметрів та виявлених помилок.

Всередині світильника присутні дві шини: шина живлення та інтерфейсна шина. Шина живлення двопровідна, забезпечує надходження електроенергії від загального блока живлення до всіх контролерів, які підключені до неї паралельно. Таким чином можна змінювати кількість або склад компонентів, додаючи або вимикаючи вузли без впливу на інших споживачів. Інтерфейсна шина також провідна та забезпечує обмін інформацією між головним контролером та контролерами матриць за допомогою стандарту USART. Вибір стандарту USART зумовлено тим, що він легко фізично конвертується за допомогою перетворювачів у такі промислові стандарти: RS-232, RS-485, HART [6] та ін. Це, в свою чергу, дозволяє гнучко міняти конфігурацію складу світильника.

Протоколом для обміну інформації обрано ModBus RTU через його велику поширеність в промисловості та наявність великої кількості обладнання з його підтримкою [7]. Контролер світлодіодної матриці побудовано на базі мікроконтролера STM32F030 [5].

Керування робочою потужністю світлодіода здійснюється шляхом контролю зворотного зв'язку за струмом. Регулювання значення робочого струму здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції вхідної напруги. Широтно-імпульсна модуляція реалізована таймером-лічильником, що входить до складу мікроконтролера, та силовим блоком, який складається з N-канального польового транзистора, силової котушки індуктивності та фільтруючих конденсаторів. Контроль поточної температури світлодіодної матриці здійснюється за допомогою термістора.

Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника з встановленими контролерами показано на рис. 3–4.

Прототип корпусу світильника складається з двох частин: алюмінієвого радіаторного профілю БПО-1905 та алюмінієвого П-подібного швелера БПО-1273. Більш детальне проектування корпусу та виробничої документації в рамках даної статті не проводилося.

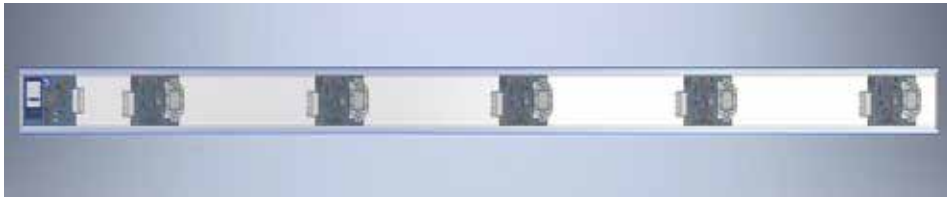


Рис. 3. Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника (фронтальний вид)



Рис. 4. Загальний очікуваний вигляд корпусу світильника з боку

**Висновки.** У статті було розроблено концепцію вдосконаленого світлодіодного світильника з розширеними інформаційними властивостями на базі мікроконтролера STM32, який має підвищений рівень ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами шляхом впровадження прямого адаптивного керування поточною освітлювальною потужністю відповідно до потреб у кожній конкретній освітлювальній зоні об'єкту. Основними перевагами розробленого світлодіодного світильника є: знижений рівень споживання електричної енергії; дистанційне керування роботою приладу згідно алгоритмів користувача; підвищення надійності освітлювального приладу; зменшення часу, необхідного для виконання ремонту світлодіодного освітлювального приладу.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Заходи з енергозбереження у сфері електропостачання, 2016. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovist/zahodi-z-energozberezhennya-u-sferi-elektropostachannya> (дата звертання: 21.04.23).
2. Що таке світлодіодні лампи LED? Їх переваги та недоліки, 2022. URL: [https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva\\_svetodiodnykh\\_lamp\\_i\\_svetilniko](https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko) (дата звертання: 26.04.23).
3. Переваги та недоліки світлодіодного освітлення, 2021. URL: [https://altaris.kh.ua/ua/publications\\_3](https://altaris.kh.ua/ua/publications_3) (дата звертання: 19.03.23).
4. Переваги світлодіодних ламп і світильників, 2023. URL: [https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva\\_svetodiodnykh\\_lamp\\_i\\_svetilniko](https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko) (дата звертання: 10.03.23).
5. Квашнін В.О., Бабаш А.В., Квашнін В.В. Програмування та застосування мікроконтролерів STM32F4Discovery: монографія. Краматорськ: ЦТPI «Друкарський дім», 2017. 143 с.
6. Протокол передачі даних UART, 2023. URL: <https://musbench.com/all/uart/> (дата звертання: 12.04.23).
7. Modbus, 2012. URL: <https://wiki.tntu.edu.ua/Modbus> (дата звертання: 02.05.23).

**REFERENCES:**

1. Zakhody z enerhozberezhennia u sferi elektropostachannia. (2016). Retrieved from: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-iyalnosti/elektroenergiya/promislovist/zahodiz-energozberezhennya-u-sferi-elektropostachannya>. Accessed on: Apr. 21, 2023 [in Ukrainian].
  2. Shcho take svitlodiodni lampy LED? (2022). Yikh perevahy ta nedoliky. Retrieved from: [https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva\\_svetodiodnykh\\_lamp\\_i\\_svetilniko](https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko). Accessed on: Apr. 26, 2023 [in Ukrainian].
  3. Perevahy ta nedoliky svitlodiodnoho osvittlennia. (2021). Retrieved from: [https://altaris.kh.ua/ua/publications\\_3](https://altaris.kh.ua/ua/publications_3). Accessed on: Mar. 19, 2023 [in Ukrainian].
  4. Perevahy svitlodiodnykh lamp i svitylnykyv. (2023). Retrieved from: [https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva\\_svetodiodnykh\\_lamp\\_i\\_svetilniko](https://ledmir.com.ua/articles/preimushchestva_svetodiodnykh_lamp_i_svetilniko). Accessed on: Mar. 10, 2023 [in Ukrainian].
  5. Kvashnin V.O., Babash A.V., Kvashnin V.V. (2017). Prohramuvannia ta zastosuvannia mikrokontroleriv STM32F4Discovery. *Monohrafiia*. Kramatorsk: TsTRI "Drukarskyi dim". 143 c. [in Ukrainian].
  6. Protokol peredachi danykh UART. (2023). Retrieved from: <https://musbench.com/all/uart>. Accessed on: Apr. 12, 2023 [in Ukrainian].
  7. (2012) Modbus. Retrieved from: <https://wiki.tntu.edu.ua/Modbus>. Accessed on: May. 02, 2023 [in Ukrainian].
-

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.3>

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЙМВОРКІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ

**Гакман Д. В.** – магістр

Державного університету телекомунікацій

ORCID ID: 0009-0007-5952-0667

**Антоненко А. В.** – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри комп'ютерної інженерії

Державного університету телекомунікацій

ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Для успішного виходу на ринок, а також стабілізації та утримання своїх позицій на ньому, кожен продукт проходить тестування в різних його проявах та на різних етапах свого життєвого циклу. Це важлива частина процесу розробки та підтримки, адже чим далі розвивається ІТ індустрія, тим більше з'являється вимог до кінцевого продукту, щоб він був конкурентоспроможним. Так відбувається тому, що важливі характеристики такі як стабільність, зручність у використанні чи продуманий дизайн інтерфейсу взаємодії з користувачем стали нормою. В сучасному світі, щоб постійно отримувати нових клієнтів – потрібно принести більше ніж це. Кожна характеристика чи вимога повинні перевірятись ще детальніше. За різними оцінками загальна вартість тестування програмного забезпечення може становити від 15 до 25 % від загальної вартості проекту. А тому до нього потрібно підходити з продуманим планом та підготовкою. Тут продукти можна умовно розділити на два напрями: що після виходу на ринок вже не будуть допрацьовуватись і що будуть працювати над покращеннями впродовж всього свого циклу існування. В першому випадку часто достатньо провести повне мануальне тестування та в разі успіху випустити продукт. В другому ж випадку тестувати доведеться регулярно, при кожних змінах чи оновленні. А отже, це буде забирати значну частину ресурсів та бюджету. Тому на таких проектах часто присутня автоматизація тестування, яка суттєво зменшує кількість ручної роботи. Вона часто може обходитись дешевше, а також дозволяє значно зменшити витрати часу та ресурсів та забезпечує більшу точність та ефективність в порівнянні з ручним тестуванням, яке часто повторюється. Однак розробляти нову систему для запуску та розробки тест кейсів для кожного проекту – це дуже складно і витратно. Тому спеціалісти розробили універсальні фреймворки для автоматизованого тестування, що гнучко налаштовуються під індивідуальні потреби. Використання фреймворків має свої виклики, які можуть вплинути на ефективність тестування. У даній статті розглянуто три найбільш поширені проблеми, з якими стикаються автоматизатори, та способи їх вирішення.

**Ключові слова:** тестовий фреймворк, тестування, автоматизація, тест кейс, інструменти для автоматизації.

### **Hakman D. V., Antonenko A. V. Features of the development and use of frameworks for automated testing**

In order to successfully enter the market, as well as to stabilize and maintain its position on it, each product undergoes testing in its various manifestations and at various stages of its life cycle. This is an important part of the development and support process, because the further the IT industry develops, the more requirements appear for the final product to be competitive. This is because important features such as stability, ease of use, or thoughtful user interface design have become the norm. In today's world, to constantly get new customers, you need to bring more than this. Each characteristic or requirement should be checked in more detail. According to various estimates, the total cost of software testing can be from 15 to 25 % of the total cost of the project. And therefore it is necessary to approach it with a well-thought-out plan and preparation. Here, products can be conditionally divided into two directions: those that will not be improved after entering the market and that will work on improvements throughout their entire life cycle. In the first case, it is often enough to conduct full manual testing and release the product if successful. In the second case, you will have to test regularly, with every change or update. And therefore, it will take a significant part of resources and budget. Therefore, such projects often have testing

*automation, which significantly reduces the amount of manual work. It can often be cheaper, and can significantly reduce time and resources, and provide greater accuracy and efficiency compared to manual testing, which is often repeated. However, developing a new system for launching and developing test cases for each project is very difficult and expensive. Therefore, specialists have developed universal frameworks for automated testing that are flexibly adjusted to individual needs. Using frameworks has its own challenges that can affect test performance. This article examines three of the most common problems faced by automatizers and how to solve them.*

**Key words:** test framework, testing, automation, test case, automation tools.

**Вступ.** В сучасному світі, де швидкість розробки програмного забезпечення має ключове значення, тестування ПЗ, безсумнівно, є невід’ємною частиною життєвого циклу розробки (SDLC). З розвитком Agile та DevOps методологій, а також прагненням підприємств до швидких релізів та якісних продуктів, виникла потреба в методах тестування програмного забезпечення, які є швидшими та ефективнішими, ніж ручне тестування. Саме в цей момент архітектура автоматизації тестування програмного забезпечення, що реалізується за допомогою фреймворків, набуває все більшого поширення і сьогодні лідирує в тестуванні ПЗ [1–3].

Test Automation Framework – це не окремий інструмент чи процес, а їх набір, який спільно працює для підтримки безпосередньо автоматизованого тестування, розробки тестових випадків, генерації звітів чи інтеграції із іншими інструментами. Він об’єднує різні частини, такі як бібліотеки, тестові дані та різноманітні багаторазові модулі. Це концептуальна частина автоматизованого тестування, яка допомагає тестувальникам більш ефективно використовувати ресурси. Фреймворк можна визначити як набір правил або найкращих практик, яких можна дотримуватися систематично, що гарантує отримання бажаних результатів. В загальному це платформа, розроблена шляхом інтеграції різних апаратних і програмних ресурсів, а також використання різних інструментів на основі кваліфікованого відбору. Він дозволяє ефективно проектувати і розробляти сценарії автоматизованого тестування, а також забезпечує надійний аналіз проблем або помилок для об’єкту, що тестується [4–6].

При розробці та використанні фреймворків, автоматизатори зіткнуться з рядом проблем, що можуть вплинути на якість тестування та витрати на нього. Певна частина цих проблем буде унікальна до проєкту, що розробляється, але багато з них будуть або однаковими, або схожими за своїм сенсом чи походженням, а, отже, буде достатньо адаптувати існуюче рішення, замість розробки нового. Тому, щоби принести найбільшу користь та мати змогу правильно розподіляти ресурси проєкту важливо розуміти ті проблеми, які часто зустрічаються і вміти коригувати існуючі рішення під власні потреби, адже фреймворки залишаються важливим інструментом для забезпечення якості програмного забезпечення. Використовуючи правильний підхід можна суттєво знизити витрати на тестування та скоротити час, необхідний для випуску нових версій ПЗ. Нижче будуть розглянуті основні складнощі, що часто зустрічаються при розробці та використанні фреймворків для автоматизованого тестування, а також запропоновані декілька можливих шляхів вирішення цих проблем із окремим розбором кожного з них. Це дасть змогу поглибити своє розуміння, а також мати в арсеналі декілька варіантів підходів, які можна комбінувати для досягнення найбільш вигідного результату.

**Постановка проблеми.** Одним з основних викликів в автоматизації – є необхідність забезпечити покриття тестами різноманітних вимог, як функціональних, так і нефункціональних, при цьому підтримуючи високу швидкість виконання

тестів і максимальну автономність від людини. Тому це вимагає більшої кількості знань та вмінь від інженерів-автоматизаторів, оскільки неправильне використання та налаштування фреймворку, може призвести до погіршення процесу тестування, що матиме негативний вплив на весь проєкт [7–10].

Проблеми, що розглядаються в даній статті мають важливий практичний зв'язок із завданнями в галузі розробки програмного забезпечення та тестування. Адже перед розробниками тестових фреймворків завжди стоїть завдання, якнайкраще забезпечити підтримку та перевірку якості продукту

**Мета дослідження.** *Метою роботи* є поглиблення розуміння проблем, пов'язаних з використанням фреймворків для автоматизованого тестування, та надання інформації про можливі шляхи їх вирішення.

Об'єктом дослідження є фреймворки для автоматизованого тестування.

Предметом дослідження є проблеми, пов'язані з використанням фреймворків для автоматизованого тестування та способи їх вирішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз інформаційних джерел, що стосуються проблем розробки та використання фреймворків для автоматизованого тестування, підтверджує важливість цієї теми та допомагає глибше розуміти наявні питання.

У науковій праці “Challenges in Test Automation Framework Design and Development” у журналі *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* [5] досліджує проблеми, що виникають при розробці та використанні фреймворків для автоматизованого тестування. У статті описано проблеми з використанням даних, проблеми з управлінням тестовими сценаріями та скриптами, а також проблеми зі змінністю тестового середовища.

Дослідження “Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review” [6] розглядає проблеми, які пов'язані з автоматизованим тестуванням в цілому. Дослідження підтвердило, що багато компаній використовують фреймворки для автоматизованого тестування та часто стикаються з проблемами в їх розробці та підтримці. Дослідження зазначає, що відсутність стандартів та норм у розробці тестових сценаріїв є однією з основних проблем.

У науковій праці “The challenges and benefits of continuous integration in software engineering” у журналі *Information and Software Technology* [11] розглядає проблеми, пов'язані зі впровадженням Continuous Integration в процес розробки програмного забезпечення. У статті зазначено, що інтеграція тестових фреймворків є однією з найбільш складних задач при впровадженні Continuous Integration. У статті також описано переваги Continuous Integration, такі як зменшення ризиків при релізі програмного забезпечення та зменшення часу на виявлення та виправлення помилок.

Дослідження “Automation testing challenges and solutions: A review” у журналі *International Journal of Computer Applications* [12] досліджує складнощі, пов'язані з автоматизованим тестуванням в цілому. У статті описано проблеми, які можуть виникнути саме при використанні фреймворків, такі як складність відлагодження тестових скриптів та проблеми зі змінністю тестового середовища. Також у статті наведено різні рішення для вирішення цих проблем.

Проаналізувавши джерела, для розгляду було обрано питання, які найчастіше мають вплив на процес тестування:

1. Створення та підтримка тестових скриптів.
2. Відсутність загальноприйнятих стандартів та норм для розробки тестових сценаріїв.

### 3. Інтеграція тестових фреймворків в процес Continuous Integration / Countinuos Development.

Ці проблеми призводять до помилок та затримок у процесі розробки програмного забезпечення, тому їх вивчення та вирішення є важливою темою для тих, хто бере участь в розробці та тестуванні програмного забезпечення. Знання про ці проблеми допоможе розробити ефективну стратегію тестування та вибрати інструменти, які найбільш підходять для конкретного проєкту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перша проблема, з якою стикаються автоматизатори – це створення та підтримка тестових скриптів. Це завдання займає багато часу та зусиль автоматизатора, оскільки система, яку тестують, часто змінюється та доповнюється, а отже, раніше написані тести вже можуть бути неактуальними та потребувати оновлення. Коли таких тестів тисячі – це нелегке завдання, тому щоб не втрачати час та ресурси проєкту, важливо розуміти проблему та підходи до вирішення. Розберемо можливі розв'язання.

Першим способом є використання шаблонів проєктування та рефакторингу коду. Умовно можна виділити три рівні повторного використання частин коду. Нижній – це збірки класів, бібліотек, модулів. На найвищому рівні знаходяться фреймворки, адже у них важливою є тільки архітектура. Зазвичай фреймворк має набагато більший обсяг, ніж один клас. Він надає змогу задати потрібну поведінку, а потім, при виконанні певних умов, сам викликає її. До прикладу JUnit звертається до вашого класу, коли потрібно виконати тест. Все інше відбувається всередині фреймворка. На середньому ж рівні можна розмістити патерни, які є більш абстрактними ніж фреймворки, та водночас мають менше прив'язки до мови програмування. Вони є описом того, як певні класи чи методи взаємодіють один з одним. Основні переваги використання шаблонів полягають в наступному:

1. Економлять час і зусилля
2. Знижують витрати на обслуговування
3. Покращують повторне використанні коду
4. Підвищують надійність
5. Допомагають створювати структурований код, який полегшує процес автоматизації
6. Покращують комунікацію і розуміння між інженерами.

Вони допомагають відмежовувати внутрішню реалізацію фреймворку від реалізації тестів або розв'язувати проблему стандартизації коду та дозволяють використовувати рішення, що вже перевірені величезною кількістю інженерів, адаптуючи їх під власну потребу.

Шаблони що часто використовуються в автоматизації є Page Object Model, Factory і Singleton.

Page Object Model (POM) дозволяє відокремити структуру веб-сторінки від тестового скрипту, що забезпечує більшу стабільність та зручність підтримки тест кейсів. За допомогою POM, структура веб-сторінки відображається у вигляді об'єктів, методи яких абстрагують запити та налаштування, даючи назовні тільки зручний читабельний інтерфейс. Ще однією перевагою є можливість повторного використання даних об'єктів. Якщо структура веб-сторінки змінюється, то потрібно змінити лише реалізацію об'єкта, а тест кейси залишаться незмінними.

У фабричному патерні проєктування існує клас з фабричним методом, який займається усіма процесами створення об'єктів. У цьому патерні є суперклас з декількома підкласами, і на основі даних, введених користувачем на рівні тестового класу, він повертає один з підкласів. За логіку реалізації відповідає клас, який



розширює батьківський клас, таким чином, він приховує складний код на рівні тестування. Як користувачеві, нам просто потрібно створити об'єкт цього класу і використовувати його в тесті для виклику відповідного методу, що містить бізнес-логіку.

Патерн проектування Singleton – це один з найпростіших і зрозумілих патернів, який можна впровадити у фреймворк автоматизації. Цей патерн використовується, коли потрібно використовувати один і той же об'єкт класу в різних місцях. Він обмежує можливі екземпляри класу до одного екземпляра. Щоб його імплементувати, потрібно оголосити конструктор класу закритим (`private`), щоб ніхто не міг створити екземпляр класу за його межами, потім оголосити статичну змінну-посилання класу і статичний метод що повертає об'єкт класу одинака. Також цей метод повинен перевіряти, чи об'єкт вже був створений один раз [13].

Наступним способом вирішення є використання інструментів, що дозволяють записувати тестові скрипти. Такі інструменти автоматично запам'ятовують дії, що виконує користувач. Прикладом є Selenium IDE що дозволяє записувати тестові дії у форматі Selenese. Це дуже зручно для автоматизаторів без достатніх знань програмування, однак, дослідження показують, що використання таких інструментів є неефективним у випадку складних тестових сценаріїв або при зміні структури веб-сторінки. Також, відсутність навичок програмування в автоматизатора може призвести до генерації неправильних тестових скриптів, тому даний підхід вимагає уваги та обов'язкового ревію тестів більш досвідченими колегами.

Ще одним способом є використання параметризації. При такому підході створюється один (можливо трохи складніший) тестовий скрипт, який приймає певний набір тестових варіацій, що дозволяє провести набагато більше тестів. Гарним прикладом є тестування будь-якого поля вводу. Можна створити один тестовий скрипт, який буде приймати на вхід різноманітні комбінації тексту, і перевіряти поведінку сайту в кожній із варіацій. Але варто зазначити що використання параметризації не завжди потрібно і це залежить від ситуації. Найкращим сценарієм для таких тестів є ситуація, коли у нас є багато тестових варіацій для одного тесту. З іншого боку, не варто використовувати параметризовані тести в ситуаціях, коли відбувається перевірка тільки одного набору даних. Відокремлення даних від тесту буде надмірним ускладненням.

Переваги використання параметризації:

1. Потрібен тільки один тест для багатьох тестових випадків.
2. Логіка тесту відокремлена від тестових даних.
3. Файлом з даними можна легко поділитись з іншими членами команди, а особливо це корисно, якщо потрібно поділитись із ручними тестувальниками, які не знають мови програмування.
4. Вони зменшують повторюваність коду.

Недоліки використання параметризації:

1. Відокремлення логіки тесту від параметрів тесту вимагає додаткової роботи.
2. Надмірність для тестів з невеликою кількістю тестових кейсів для перевірки.
3. Часто потрібно підтримувати додатковий файл з тестовими прикладами.

Дослідження компанії Sauce Labs, показало, що використання параметризованих тестових скриптів дозволило зменшити час, потрібний для підтримки тестових скриптів, на 70 % у порівнянні з тестовими скриптами без параметризації, а отже, у випадку змін в системі, потрібно набагато менше зусиль для виправлення тестових сценаріїв [14].

Також при розробці тестових скриптів варто керуватись 7 принципами тестування відповідно до ISTQB:

1. Тестування зменшує ймовірність того, що в програмному забезпеченні залишаться невиявлені дефекти, але навіть якщо дефектів не виявлено, тестування не є доказом правильності програми.

2. Тестування всіх комбінацій вхідних даних і передумов неможливе, за винятком тривіальних випадків. Замість того, щоб намагатися провести вичерпне тестування, слід використовувати аналіз ризиків, методи тестування та пріоритети, щоб зосередити зусилля на тестуванні.

3. Щоб виявити дефекти на ранніх стадіях, статичне і динамічне тестування слід починати якомога раніше в життєвому циклі розробки програмного забезпечення. Раннє тестування іноді називають зсувом вліво. Тестування на ранніх стадіях життєвого циклу розробки програмного забезпечення допомагає зменшити або усунути дорогі зміни.

4. Невелика кількість модулів зазвичай містить більшість дефектів, виявлених під час передрелізного тестування, або є причиною більшості операційних збоїв. Прогнозовані кластери дефектів і фактично виявлені кластери дефектів під час випробувань або експлуатації є важливим вкладом в аналіз ризиків, який використовується для фокусування зусиль під час випробувань (як зазначено в принципі 2).

5. Якщо повторювати одні й ті ж випробування знову і знову, то з часом ці випробування перестануть виявляти нові дефекти. Щоб виявити нові дефекти, може знадобитися змінити існуючі тести і дані випробувань, а також написати нові тести.

6. Тестування проводиться по-різному в різних контекстах. Наприклад, критично важливе для безпеки промислове програмне забезпечення для управління тестується інакше, ніж мобільний додаток для електронної комерції.

7. Деякі організації очікують, що тестувальники можуть провести всі можливі тести і знайти всі можливі дефекти, але принципи 2 і 1, відповідно, говорять, що це неможливо. Крім того, помилково очікувати, що просто виявлення та виправлення великої кількості дефектів забезпечить успіх системи. Наприклад, ретельне тестування всіх визначених вимог і виправлення всіх знайдених дефектів може призвести до того, що система буде складною у використанні, не відповідатиме потребам і очікуванням користувачів або буде гіршою порівняно з іншими конкуруючими системами.

Розробка тестових скриптів є трудомістким процесом, який потребує постійного удосконалення. Проте, використання правильних технологій та підходів допоможе забезпечити більш ефективне використання часу та загалом якісніше тестування програмного забезпечення.

Друга проблема, що потребує уваги – це відсутність загальноприйнятих стандартів та норм для розробки тестових сценаріїв. Часто автоматизатори можуть мати різні підходи до розробки, що призводить до складнощів у підтримці такого коду іншими QA інженерами. Не існує загальновизначених правил, яких всі повинні дотримуватися в процесі розробки тестових скриптів, а тому в кожній людини може бути своя реалізація рішення на ту чи іншу проблему. Це не завжди погано, але на початку розробки тестового фреймворку цьому точно варто приділити час.

До прикладу, дослідження “A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications”, опубліковане в журналі IEEE Access

показало, що більшість з 50-ти проаналізованих інструментів та фреймворків для автоматизованого тестування веб-додатків, використовують власні методології тестування, що може призвести до неоднаковості та спричиняє потребу в можливому перенавчанні наявних спеціалістів [15].

Хорошим розв'язанням цього питання є розбір наявних стандартів із суміжних галузей, таких як розробка чи ручне тестування та випрацювання на їх основі стандартів для окремої команди, або групи команд, що працюють над одним проектом. Такі стандарти можуть включати правила створення тестових скриптів, правила форматування коду для його консистентного вигляду, використання методик тестування, а також уніфікація процесів звітування та відстеження помилок. Усі ці дії допоможуть забезпечити стандартизованість різноманітних тестових артефактів впродовж всього життєвого циклу тестування, та підвищать зрозумілість для всіх членів команди. До прикладу, якщо розробка тестів відбувається на мові програмування Python, можна використовувати PEP8. Це керівництво по стилю для коду Python, яке рекомендоване до використання розробниками мови, хоч і не є обов'язковим. В багатьох інших мовах програмування є схожі набори правил і рекомендацій. Що стосується звітування, все дуже залежить за допомогою чого відбувається генерація репортів. На сьогодні дуже популярним є Allure Framework. Це гнучкий легкий багатомовний інструмент для створення тестових звітів, який не тільки показує дуже стисле представлення того, що було протестовано, у вигляді веб-звіту, але й дозволяє кожному учаснику процесу розробки витягувати максимум корисної інформації з повсякденного виконання тестів.

Але ці рішення не зможуть існувати повноцінно без процесу огляду та перевірки. Після розробки нових тест кейсів чи частин фреймворку, написаний код обов'язково повинен проходити етап огляду мінімум ще одним автоматизатором з команди. Це допоможе виявляти помилки та відразу їх виправляти, а також підтримувати наслідкування прийнятих стандартів. Цей процес є описаний організацією ISTQB. Існує чотири типи рев'ю, від неформального, до найбільш стандартизованого і тому важливо розуміти коли і яке рев'ю застосовувати, адже цей процес відбирає час двох і більше інженерів одночасно.

#### 1. Неформальне:

– може мати форму парного програмування або технічного керівника, який перевіряє дизайн та код;

- результати можуть бути задокументовані;
- корисність варіюється в залежності від рецензентів;
- основна мета: недорогий спосіб отримати певну користь;

#### 2. Покрокове ознайомлення:

- зустріч під керівництвом автора;
- може відбуватися у формі сценаріїв, пробних запусків або групової участі;
- відкриті сесії;
- необов'язкова підготовка рецензентів перед зустріччю;
- необов'язковий звіт про рецензування;
- основні цілі: навчання, отримання розуміння, пошук недоліків;

#### 3. Технічний огляд:

- задокументований, визначений процес виявлення дефектів;
- під керівництвом підготовленого модератора;
- підготовка рецензентів до зустрічі;
- необов'язкове використання контрольних списків;
- підготовка звіту про рецензування;

- на практиці може варіюватися від досить неформального до дуже формального;
- основні цілі: обговорення, прийняття рішень, оцінка альтернатив, виявлення недоліків, вирішення технічних проблем і перевірка відповідності специфікаціям, планам, правилам і стандартам.

#### 4. Інспекція:

- під керівництвом підготовленого модератора;
- зазвичай проводиться як експертне оцінювання;
- збір метрик і різноманітних даних;
- формальний процес, що заснований на правилах та контрольних списках;
- визначені вхідні та вихідні критерії для прийняття програмного продукту;
- підготовка до зустрічі;
- звіт про перевірку, включаючи перелік висновків;
- формальний процес подальших дій;
- основна мета: виявлення дефектів.

Щоб досягти успіху при рев'ю, варто дотримуватись наступних правил:

- чітко визначати цілі;
- заповнювати та використовувати документи що прийняті на проєкті;
- залучати тільки тих людей які дійсно потрібні, щоб отримати максимальну користь і не витратити час;
- намагатись виявити дефекти, але висловлювати їх об'єктивно;
- розглядати людські питання та психологічні аспекти;
- застосовувати відповідні техніки рецензування та рецензувати в атмосфері довіри;
- проводити тренінги з техніки проведення оцінювання;
- робити акцент на навчанні та вдосконаленні процесу;
- дотримуватись правил.

Важливо проводити регулярні перевірки коду тестових скриптів для виявлення невідповідності та відхилень від стандартів. Для цього потрібно використовувати статичні аналізатори коду для виявлення потенційних недоліків. Вони знаходять такі проблеми, як звернення до змінної з невизначеним значенням, неузгодженість інтерфейсів між модулями та компонентами, змінні, що не використовуються або неправильно оголошені, недосяжний (мертвий) код, відсутня та помилкова логіка (потенційно нескінченні цикли), надмірно складні конструкції, порушення стандартів програмування, уразливості в системі безпеки та порушення синтаксису коду та програмних моделей. Статичний аналіз потрібно обов'язково включати в загальний процес тестування, адже він покриває і знаходить ті проблеми, які не в змозі знайти динамічний підхід.

З точки зору компанії можливим рішенням є проведення тренінгів та семінарів, щоб автоматизатори ознайомилися зі спільними стандартами та методиками, які використовуються в команді. Для вирішення проблеми відсутності стандартів та норм в автоматизації необхідно встановити спільні підходи та стандартизувати можливі процеси тестування, проводити регулярні перевірки коду та тренінги для автомати заторів [16].

Важливе питання, яке потрібно розглянути – інтеграція тестових фреймворків в процес Continuous Integration / Countinuos Development. Цей процес є важливим в розробці програмного забезпечення, адже він дозволяє автоматизувати процес запуску тестів та забезпечити швидке виявлення помилок. Однак, інтеграція з тестовими фреймворками має певні складнощі, які потребують уваги.

Відсутність зв'язку між тестовим фреймворком та системою управління версіями призводить до втрат часу при виявленні та виправленні помилок, оскільки немає можливості автоматично відстежувати зміни в коді та відповідні зміни в тестах. Розв'язання цієї проблеми є використання інструментів як Jenkins, які підтримують інтеграцію з системами управління версіями, до прикладу Git, що є найпопулярнішою системою. Це дозволяє автоматично запускати тести при зміні коду та відповідно виявляти та виправляти дефекти [17].

Відсутність можливості запуску тестів у різних середовищах. Програмне забезпечення часто призначається для роботи на різних операційних системах та з різними конфігураціями. Підходом до розв'язання є використання контейнерів, таких як Docker. Вони дозволяють створювати ізольовані середовища для запуску тестів. Це дозволяє забезпечити однакові умови для запуску тестів на різних середовищах та відповідно визначати та виправляти проблеми в різних конфігураціях. Контейнер – це стандартна одиниця програмного забезпечення, яка упаковує код і всі його залежності, щоб програма працювала швидко і надійно, незалежно від системи на якій він запущений. Образ контейнера Docker – це легкий, автономний, виконуваний пакет програмного забезпечення, який включає все необхідне для запуску програми: код, середовище виконання, системні інструменти, системні бібліотеки та налаштування. Переваги саме Docker контейнерів в тому, що вони стандартизовані (Docker створив галузевий стандарт для контейнерів, щоб їх можна було переносити куди завгодно), легкі (контейнери використовують ядро операційної системи машини, а тому не потребують окремої операційної системи для кожного додатка, що підвищує ефективність роботи сервера та зменшує витрати на сервер і ліцензування) та безпечні (програми в контейнерах безпечніші, а Docker надає найсильніші можливості ізоляції за замовчуванням в галузі).

Тестування займає багато часу, тому відсутність можливості запуску тестів паралельно теж може бути проблемою, адже це знижує швидкість розробки та випуску програмного забезпечення. Вирішенням проблеми є використання інструментів для паралельного запуску тестів, таких як Selenium Grid або TestNG, або схожих. Вони дають змогу запускати більшу кількість тестів одночасно, та відповідно скорочувати витрати часу на тестування. Важливо пам'ятати що автоматичні тести протрібно розробляти так, щоб вони не залежали один від одного, бо в іншому випадку паралельний запуск не принесе потрібної користі [18].

Ще одна важливе питання в процесі CI/CD – це можливість зберігати результати тестів, оскільки важко відстежувати звіти та визначати проблеми. Щоб вирішити це, потрібно використовувати інструменти збору даних про тести, таких як JUnit або TestNG. Ці інструменти дозволяють збирати таку інформацію про тести, як час виконання, статус і результати, та зберігати її у вигляді репорту. Це дозволяє проводити детальний аналіз результатів запуску.

Дослідження компанії DZone показало, що використання інструментів CI/CD забезпечує зниження тривалості тестування на 30–50 %, збільшення частоти випуску нових версій програмного забезпечення та зменшення кількості помилок, виявлених під час етапу тестування [19]. Це доводить, що інтеграція тестових фреймворків в процес CI/CD дозволяє знизити тривалість розробки та випуску програмного забезпечення, збільшити якість та надійність продукту та знизити витрати на розробку та тестування.

Компанія Sauce Labs також провела дослідження, яке показало, що використання контейнерів дозволяє скоротити час тестування в середньому на 25 %,

збільшити кількість тестів, які можна запустити паралельно, забезпечити більшу стабільність тестування та зменшення впливу на систему [20; 21].

Інтеграція тестових фреймворків в процес CI/CD є важливим етапом розробки програмного забезпечення, який дозволяє автоматизувати процес тестування та забезпечити швидке та ефективне виявлення помилок. Для розв'язання проблем, які можуть виникати під час інтеграції тестових фреймворків, можна використовувати інструменти CI/CD, контейнери для запуску тестів, інструменти для паралельного запуску тестів та збору даних про їх результати. Дослідження показують, що використання таких інструментів дозволяє знизити час тестування, збільшити якість та надійність програмного забезпечення та зменшити витрати на його розробку та тестування [22; 23].

**Висновки.** При розробці та використанні фреймворків для автоматизованого тестування існує ряд проблем, які впливають на роботу команди, якість тестування, його вартість та на ще багато факторів. Автоматизація приносить дуже багато користі, але за умови виправлення вищеописаних проблем під час планування та імплементації вищеописані або, якщо це не є можливим, їх вплив на проєкт мінімізується. В даній статті було розібрано найбільш поширені проблеми та описано способи їх розв'язання на основі досліджень різноманітних компаній та загальноприйнятих стандартів розробки та тестування. Хоча потреби різних проєктів дуже відрізняються, було наведено технології та підходи розв'язання можливих проблем, що можуть допомогти або підказати в якому напрямку шукати рішення конкретного питання. Вищеописані методи допоможуть збільшити ефективність та обсяги автоматизації, покращити якість кінцевого продукту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Hardik S. Software Testing Cost. 2022. URL: <https://www.simform.com/blog/software-testing-cost/> (дата звернення: 02.04.2023).
2. Dudekula M., Katam Reddy K., Kai P., Benefits and Limitations of Automated Software Testing: Systematic Literature Review and Practitioner Survey, Автоматизація тестування програмного забезпечення (AST). 7-й міжнародний семінар з питань, 2012.
3. Contan A., Dehelean C., L. Miclea, "Test automation pyramid from theory to practice", 018 Міжнародна конференція IEEE з автоматизації, якості та тестування, робототехніки (AQTR). Клуж-Напока, Румунія, 2018. С. 1–5, doi: 10.1109/AQTR.2018.8402699.
4. Vogel-Heuser B., Diedrich C., Fay A., Jeschke S., Kowalewski S., Wollschlaeger M. and Göhner, P. (2014) Challenges for Software Engineering in Automation. *Журнал програмної інженерії та додатків*. № 7. С. 440–451. doi: 10.4236/jsea.2014.75041
5. Shukla P., Patel D. Challenges in Test Automation Framework Design and Development. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2016. С. 67–71.
6. Khan S. R., Ali T., Khan S. Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2018. С. 2097–2108.
7. Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 6.
8. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2023. № 1.
9. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № 1.

10. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 5.
11. Humayun M., Iqbal M. Z. The challenges and benefits of continuous integration in software engineering. *Information and Software Technology*. 2017. С. 153–167.
12. Bajaj S., Singh S. Automation testing challenges and solutions: A review. *International Journal of Computer Applications*. 2017. № 173(4). P. 23–28.
13. Олександр Ш., Занурення в патерни проєктування / за ред. М. Ельвіри, Refactoring. Guru, 2021.
14. Leotta M., Clerissi D., Ricca F., Spadaro C. “Improving Test Suites Maintainability with the Page Object Pattern: An Industrial Case Study”. IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops. Люксембург, 2013. P. 108–113, doi: 10.1109/ICSTW.2013.19.
15. Gunjan K., Page Object Model, URL: <https://www.toolsqa.com/selenium-webdriver/page-object-model/> (дата звернення: 03.04.2023).
16. John Kent M. Sc, Test Automation: From Record / Playback to Frameworks, 2019, URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=327a028cc53b0774671ee380e0e268e3ffae28b4> (дата звернення: 03.04.2023).
17. Sauce Labs, Parameterized Testing: A Practical Guide for Better Tests., URL: <https://saucelabs.com/resources/articles/parameterized-testing-a-practical-guide-for-better-tests> (дата звернення: 01.04.2023)
18. Tillmann Nikolai, de Halleux Jonathan, Xie Tao. Parameterized unit testing. 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering – Volume 2 (ICSE '10). Association for Computing Machinery. Нью-Йорк, США. С. 483–484. doi: <https://doi.org/10.1145/1810295.1810441>
19. Z. Ali, S. S. Awan, S. A. Khan, M. H. Shah, A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications, 2019.
20. ISTQB Glossary, URL: [https://glossary.istqb.org/en\\_US/search?term=](https://glossary.istqb.org/en_US/search?term=) (дата звернення: 30.03.2023).
21. Sheekha J, What is Version Control System, 2021, URL: <https://www.toolsqa.com/git/version-control-system/> (дата звернення: 07.04.2023).
22. Dzone, The State of Continuous Integration and Continuous Delivery: 2021 Report, 2021, URL: <https://dzone.com/articles/ci-cd-tools-and-trends-survey-2019-2020-results> (дата звернення: 30.03.2023).
23. SauceLabs, The Benefits of Containers in Agile Testing, 2021, URL: <https://saucelabs.com/resources/white-papers/containerization-testing-landscape-report-2019> (дата звернення: 30.03.2023).

#### REFERENCES:

1. Hardik S. Software Testing Cost, 2022. URL: <https://www.simform.com/blog/software-testing-cost/> (дата звернення: 02.04.2023).
2. Dudekula M., Katam Reddy K., Kai P., Benefits and Limitations of Automated Software Testing: Systematic Literature Review and Practitioner Survey, *Avtomatyzatsiia testuvannia prohramnoho zabezpechennia (AST)*, 7-y mizhnarodnyi seminar z pytan, 2012.
3. A. Contan, C. Dehelean and L. Miclea, “Test automation pyramid from theory to practice”, 018 Mizhnarodna konferentsiia IEEE z avtomatyzatsii, yakosti ta testuvannia, robototekhniki (AQTR), Kluzh-Napoka, Rumuniia, 2018, s. 1–5, doi: 10.1109/AQTR.2018.8402699.
4. Vogel-Heuser, B., Diedrich, C., Fay, A., Jeschke, S., Kowalewski, S., Wollschlaeger, M. and Göhner, P. (2014) Challenges for Software Engineering in Automation. *Zhurnal prohramnoi inzhenerii ta dodatki*, 7, s. 440–451. doi: 10.4236/jsea.2014.75041
5. Shukla, P., Patel, D., Challenges in Test Automation Framework Design and Development. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2016, с. 67-71.

6. Khan, S. R., Ali, T., Khan, S., Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2018, p. 2097–2108.
  7. Tverdokhlib A.O., Korotin D.S. Efektyvnist funktsionuvannya kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2022, (6) [in Ukrainian].
  8. Tsvyk O.S. Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2023, (1) [in Ukrainian].
  9. Novichenko Ye.O. Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohystychnykh tsentriv. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2023, (1) [in Ukrainian].
  10. Zaitsev Ye.O. Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2022, (5) [in Ukrainian].
  11. Humayun, M., Iqbal, M. Z., The challenges and benefits of continuous integration in software engineering. *Information and Software Technology*, 2017, p. 153–167.
  12. Bajaj, S., & Singh, S. (2017). Automation testing challenges and solutions: A review. *International Journal of Computer Applications*, 173(4), p. 23–28.
  13. Oleksandr Sh., Zanurennia v paterny proiektuvannia / za red. M. Elviry, Refactoring.Guru, 2021.
  14. M. Leotta, D. Clerissi, F. Ricca and C. Spadaro, “Improving Test Suites Maintainability with the Page Object Pattern: An Industrial Case Study”, 2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops, Liuksemburh, Liuksemburh, 2013, s. 108–113, doi: 10.1109/ICSTW.2013.19.
  15. Gunjan K., Page Object Model, URL: <https://www.toolsqa.com/selenium-webdriver/page-object-model/> (data zvernennia: 03.04.2023).
  16. John Kent M. Sc, Test Automation: From Record/Playback to Frameworks, 2019, URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=327a028cc53b0774671ee380e0e268e3ffae28b4> (data zvernennia: 03.04.2023).
  17. Sauce Labs, Parameterized Testing: A Practical Guide for Better Tests., URL: <https://saucelabs.com/resources/articles/parameterized-testing-a-practical-guide-for-better-tests> (data zvernennia: 01.04.2023)
  18. Nikolai Tillmann, Jonathan de Halleux, and Tao Xie, Parameterized unit testing: 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering – Volume 2 (ICSE 10). Association for Computing Machinery, Niu-York, SShA, s. 483–484. doi: <https://doi.org/10.1145/1810295.1810441>
  19. Z. Ali, S. S. Awan, S. A. Khan, M. H. Shah, A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications, 2019
  20. ISTQB Glossary, URL: [https://glossary.istqb.org/en\\_US/search?term=](https://glossary.istqb.org/en_US/search?term=)(data zvernennia: 30.03.2023).
  21. Sheekha J, What is Version Control System, 2021, URL: <https://www.toolsqa.com/git/version-control-system/> (data zvernennia: 07.04.2023).
  22. Dzone, The State of Continuous Integration and Continuous Delivery: 2021 Report, 2021, URL: <https://dzone.com/articles/ci-cd-tools-and-trends-survey-2019-2020-results> (data zvernennia: 30.03.2023).
  23. SauceLabs, The Benefits of Containers in Agile Testing, 2021, URL: <https://saucelabs.com/resources/white-papers/containerization-testing-landscape-report-2019> (data zvernennia: 30.03.2023).
-



УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.4>

## ПЕРВИННА ОБРОБКА ДАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОРТИВНИХ ТРЕНУВАНЬ СТУДЕНТІВ НА ВЕСЛУВАЛЬНИХ ТРЕНАЖЕРАХ CONCEPT2 ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ БІБЛІОТЕКИ PANDAS

**Горбань Г. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення  
Чорноморського національного університету імені Петра Могили  
ORCID ID: 0000-0002-6512-3576  
Scopus Author ID: 57103674400

**Кандиба І. О.** – Ph.D.,  
старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення  
Чорноморського національного університету імені Петра Могили  
ORCID ID: 0000-0002-8589-4028  
Scopus Author ID: 57212577217

**Фісун М. Т.** – доктор технічних наук,  
професор кафедри інженерії програмного забезпечення  
Чорноморського національного університету імені Петра Могили  
ORCID ID: 0000-0003-1297-6230  
Scopus Author ID: 57103586600

У статті представлено початковий етап дослідження спортивних результатів з академічного веслування студентів Чорноморського національного університету імені Петра Могили, який полягає у отриманні даних результатів тренування на веслувальних тренажерах Concept2 та подальшому співставленні з даними протоколів виконання веслувальних тестів. Наведено структуру даних, що зберігається у внутрішній пам'яті моніторів веслувальних тренажерів та показано їх незручність при подальшій обробці та аналізі. Наведено використання при очищенні даних бібліотеки Pandas мови Python та її класу DataFrame, що представляє зручний спосіб зберігання даних у табличному вигляді та їх перетворенні. Детально наведено процес отримання кінцевого датафрейму, придатного для подальшого аналізу даних та застосуванні на них методів машинного навчання для виявлення залежностей між антропологічними характеристиками студентів та пройдених ними відстаней та потужностей зривків впродовж тренування, а також для прогнозування майбутніх спортивних результатів. Показано, що у початкових даних тренувань на веслувальних тренажерах зберігаються тренування протягом одного календарного року, а також що результати одного тренування представляються в декількох рядках, тому необхідно спочатку відфільтрувати тільки необхідні дані, а потім їх представити у вигляді, який у одному конкретному рядку зберігає дані тільки одного тренування. Наведено варіант реалізації цього представлення засобами бібліотеки Pandas. Представлено структуру даних протоколів виконання веслувальних тестів, що внесені викладачами з фізичного виховання, а саме наведено антропологічні характеристики студентів, що вносились у відповідні протоколи. Наведено процес отримання датафрейму з даними протоколів, який є результатом об'єднання двох аркушів файлу з протоколами. У якості останньої операції при очищенні даних представлено об'єднання двох отриманих датафреймів із даними веслувальних тренажерів та протоколів відповідно за загальними полями, якими є дата та час початку тренування та інвентарний номер тренажеру, що є аналогом операції JOIN у мові SQL.

**Ключові слова:** спорт, академічне веслування, тренажер, Concept2, набір даних, Pandas, DataFrame, характеристика, об'єднання.

**Horban H. V., Kandyba I. O., Fisun M. T. Primary data processing of students' sports training results on rowing simulators Concept2 for further analysis using the Pandas library**

The article presents the initial stage of the study of sports results in academic rowing of students of Petro Mohyla Black Sea National University, which consists in obtaining data on the results of training on rowing simulators Concept2 and further comparison with the data of rowing test protocols. The structure of the data stored in the internal memory of rowing simulator monitors is presented and their inconvenience in further processing and analysis is indicated. The use of the Pandas library of the Python language and its DataFrame class, which is a convenient way to store data in tabular form and transform it, is shown when cleaning data. The process of obtaining the final data frame suitable for further data analysis and applying machine learning methods to it to identify dependencies between the anthropological characteristics of students and the distances they covered and the power of their strokes during training, as well as to predict future sports results, is presented in detail. It is shown that the initial data of training on rowing simulators stores training during one calendar year, and that the results of one training session are presented in several lines, so it is necessary to first filter only the necessary data and then present them in a form that stores only one training session in one specific line. The article presents a variant of realization of this representation by means of the Pandas library. The data structure of the rowing test protocols entered by physical education teachers is presented, namely, the anthropological characteristics of students entered in the relevant protocols. The process of obtaining a dataframe with protocol data, which is the result of merging two sheets of a file with protocols, is presented. As the last operation in data cleaning, we present the union of the two obtained dataframes with the data of rowing machines and protocols, respectively, by common fields, which are the date and time of the start of training and the inventory number of the machine, which is analogous to the JOIN operation in SQL.

**Key words:** sport, academic rowing, simulator, Concept2, dataset, Pandas, DataFrame, characteristics, association.

**Вступ.** Розвиток сучасного спорту невід'ємно пов'язаний з науковими дослідженнями та впровадженням технологічних новинок у тренувальний процес спортсменів. Після кількох років кризових явищ в усіх суспільних сторонах життя, зокрема й у спорті, спостерігається підйом. Кожен новий етап у розвитку будь-якого виду спорту вимагає якісно нового вирішення цих завдань. Сукупність технічної, фізичної та інших сторін підготовленості спортсменів циклічних видів спорту, підпорядкована одній меті – досягненню можливої більшої швидкості на змаганні. Стрімке зростання спортивних результатів серед спортсменів різних країн передбачає серйозне вдосконалення тренувальних програм з урахуванням останніх досягнень спортивної науки.

У свою чергу, моделювання є достатньо важливим фактором організації та планування підготовки спортсмена, що дає можливість прогнозування бажаного рівня досягнення, правильного формулювання завдання та використання найбільш ефективних засобів тренування.

Створення та впровадження систем, що будуються на новітніх інформаційних технологіях і складних методах обробки даних, стають все більш важливими для збору, передачі, зберігання та аналізу даних з різних датчиків у спорті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До сучасних методів штучного інтелекту, які використовують у спорті, належать кластерний аналіз, алгоритми регресії, метод опорних векторів, метод К-найближчих сусідів, асоціативні правила, нейронні мережі, методи нечіткої логіки, які використовуються для класифікації, кластеризації і прогнозування конкретних спортивних даних. Нині, зокрема, аналіз даних за допомогою методів самонавчання дедалі частіше обговорюються як перспективний напрям застосування у спортивній науці [1–3]. Комп'ютерні системи з концепцією нечіткої логіки, що застосовуються в спорті, включають у себе зібрані дані від пристроїв із датчиками, а також рекомендовані пропозиції з критеріями належного виконання вправ. Кінцева мета полягає в об'єднанні

розроблених процедур в комп'ютеризовану тренувальну систему з автоматизованим зворотним зв'язком за виконуваною методикою [4].

Фахівцями політехнічного університету Картахени та університету Віго (Іспанія) запропоновано динамічний програмний підхід для інтелектуальних платформ у бігових дисциплінах на основі марківських процесів прийняття рішень [5]. Він дозволяє спортсменам виконувати різномірні тренувальні програми з кількома рівнями інтенсивності вправ.

Вчені університету Оулу (Фінляндія) реалізували можливість автоматичного розпізнавання рухової активності на смартфонах на основі даних акселерометра [6]. На відміну від більшості інших досліджень, було зібрано не тільки дані, використовуючи акселерометр смартфона, а й було реалізовано моделі розпізнавання активності в телефоні, також програмно було реалізовано весь процес класифікації (первинне опрацювання, виділення ознак і систематизація).

У цілому за висновками експертів поєднання кількох технологій є найбільш ефективним для отримання доступу до всіх значущих параметрів, оптимізуючи результативність спортсмена. У додаток до цифрових і статистичних методів, методи нейронних мереж, інтелектуального аналізу даних, нечіткої логіки, розпізнавання образів виявилися перспективними методами оцінювання та отримання інформації в спорті.

**Постановка задачі.** Академічне веслування – вид спорту з переважним проявом витривалості, у якому антропометричні дані і маса тіла є перевагою. Результативність змагальної діяльності обумовлюється елементами, що є специфічними для академічного веслування. У циклічних видах спорту, що пов'язані з проявом витривалості, найбільше значення мають рівномірність проходження різних відрізків дистанції та рівень дистанційної швидкості.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності системи фізичного виховання студентів з академічного веслування як виду спорту в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили шляхом побудови та використання у навчальному процесі системи обробки даних фізичної підготовленості, розвитку та функціональних можливостей студентів з подальшим аналізом даних, який буде мати можливість виявлення прихованих закономірностей та взаємозв'язків, а також прогнозування майбутніх спортивних результатів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На сьогоднішній день при підготовці спортсменів високого класу в академічному веслуванні в більшості країнах світу використовують веслувальний ергометр Concept2 [7]. Наразі ергометри застосовуються при тестуванні різних сторін спеціальної фізичної та функціональної підготовленості веслярів. Спортсменам та тренерам надається можливість аналізу компонентів тренувального навантаження, відстеження кількості гребків, потужності виконання рухової дії, часу та інших параметрів. За допомогою моделювання веслувальні ергометри набувають все більш поширеного значення.

Щодо вивчення можливостей використання 6-хвилинного веслування на ергометрі Concept2 для оцінки рівня витривалості у студентів визначалось, що планувалась розробка бази даних з використанням комп'ютеризованих веслувальних ергометрів. Її розробка дозволила не лише зберігати, але й якісно обробляти інформацію, спрощуючи аналіз динаміки розвитку витривалості, силових якостей студентів. Для проектування бази даних було використано протоколи виконання тестових вправ на веслувальному ергометрі, що були заповнені вручну викладачами кафедри теорії та методики фізичного виховання (рис. 1). Також було використано дані тренувань, що зняті безпосередньо з веслувальних тренажерів.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ID	Date	Time	ConceptNumber	Name	Sex	Distance	Age	HeartRate	HeartRate	Height	Weight
2	1	29,11	16,01	5	██████████	ч	1547	20	120	180	193	75
3	2	29,11	9,45	5	██████████	ч	1431	19	130	190	181	120
4	3	29,11	10,59	5	██████████	ч	1346	19	100	190	181	72
5	4	29,11	12,21	8	██████████	ч	1690	20	80	180	196	76
6	5	29,11	12,21	5	██████████	ч	1463	19	130	200	173	73
7	6	29,11	13,00	5	██████████	ж	1109	19	110	210	165	51
8	7	29,11	13,00	8	██████████	ж	1127	19	110	190	171	51
9	8	2,12	14,44	5	██████████	ж	1011	20	110	160	170	54
10	9	2,12	14,44	8	██████████	ж	1093	21	100	170	171	65
11	10	2,12	15,02	8	██████████	ч	1349	17	120	180	176	58
12	11	2,12	15,02	5	██████████	ч	1492	20	80	190	182	76
13	12	2,12	15,23	5	██████████	ж	1162	18	100	160	166	50
14	13	2,12	15,23	8	██████████	ж	1220	18	100	200	163	61
15	14	2,12	15,33	8	██████████	ч	1325	21	110	180	184	70
16	15	2,12	16,02	6	██████████	ч	1116	17	90	170	159	52
17	16	2,12	16,02	8	██████████	ч	1155	19	100	180	167	52
18	17	2,12	16,12	8	██████████	ч	1544	20	100	200	183	78
19	18	2,12	16,12	6	██████████	ч	1563	20	120	190	183	79
20	19	2,12	12,28	8	██████████	ч	1336	17	120	220	177	57
21	20	2,12	12,28	6	██████████	ж	1406	17	100	200	173	66
22	21	2,12	12,21	6	██████████	ч	1432	19	120	190	185	65
23	22	2,12	12,21	8	██████████	ч	1499	17	130	200	175	65
24	23	2,12	12,21	5	██████████	ч	1476	18	120	180	178	71
25	24	2,12	12,54	6	██████████	ж	1233	20	100	170	172	52
26	25	2,12	12,54	8	██████████	ч	1121	19	100	160	159	46
27	26	2,12	13,07	6	██████████	ч	1350	17	110	150	182	65
28	27	2,12	13,07	8	██████████	ч	1303	18	90	170	180	70
29	28	2,12	13,17	6	██████████	ч	1485	20	120	160	182	65

Рис. 1. Дані файлу протоколу проходження тестів на веслувальному тренажері

У протоколі визначаються такі дані як дата та час проходження тесту на веслувальному тренажері, номер тренажера (у виконанні тесту було задіяно тренажери з номерами 5, 6 та 8), ім'я та прізвище студента (на рисунку ці дані закреслені через етичні міркування), стать, дистанція (повинна співпадати з результатом, отриманим на моніторі веслувального тренажера), результати вимірювання пульсу до та після тренування, вага та зріст студента.

У свою чергу для фіксації та зберігання результатів тренувань на веслувальному тренажері використовується монітор PM5, що дає можливість накопичення та збереження даних за певний період часу. Існує функціонал обміну даними між монітором PM5 та персональним комп'ютером, відповідно до якого дані зберігаються в форматі csv. З монітору імпортуються такі дані як режим тренування, загальна відстань у метрах, пройдена за весь час тренування; середня кількість помахів весла при виконанні тренування; час виконання тренування, потужності помахів весла в калоріях на годину та ваттах за загальною відстанню. Приклад csv-файлу, у який імпортовано вказані вище дані та який відкритий у програмі Excel, наведено на рис. 2.

Як можна побачити, у файлі представлено дані певного тренування, що розділені на рівні часові відрізки. Це дає змогу отримати дані середньої кількості помахів, швидкості, часу подолання відстані 500 м, а також потужностей у калоріях на годину та ваттах за конкретний період часу тренування. У файл також імпортується дата та час початку тренування. Тому зіставивши дані дат і часу початку тренувань та пройдених відстаней, зазначених у протоколах, з імпортованими даними, можна отримати більш детальні дані виконання тесту кожного студента на веслувальному тренажері в різні періоди часу.

Однак основною проблемою є те, що монітор PM5 зберігає дані тренувань протягом всього року. Тому для того, щоб знайти детальні дані тренування по кожному студенту вручну, необхідно продивитись весь файл та зіставити відповідні дані з протоколами. Це може зайняти багато часу, оскільки при цьому необхідно

відкидати дані тренувань, що відбувались не у дні, що зазначені у протоколах. Також ще більшою проблемою є те, що у ті дні може бути що далеко не всі тренування на тренажері виконували студенти. Щоб зрозуміти, що дані певного тренування дійсно належали студенту, необхідно дивитись на колонку режиму. Для студентського тесту значення буде дорівнювати «0:06:00» що означає, що тест на тренажері проходив рівно 6 хвилини і дані представлено за 3 рівних відрізки часу: за 2, 4 та 6 хвилин.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	Concept2	Software	Version 7.09.00																	
2			Log Data 1 PM5 Memory																	
3																				
4		Name	Date	Time of Day	Workout Time	Meters	Avg Spm	Avg Heart Rate	Time	Meters	Spm	Heart Rate (b/min)	Cal/hr	Watt	Time	Meters	Heart Rate			
5																				
6		PM5 Memory	16.12.2019	11:26	1x500m/1 02:16.3	500	34	0				02:16.3	775	138						
7		PM5 Memory	16.12.2019	11:26	1x500m/1:00m							02:34.3	500	34						
8		PM5 Memory	16.12.2019	11:26	1x500m/1:00m															16
9																				
10		PM5 Memory	16.12.2019	11:18	1x500m/1 02:05.8	500	28	0				02:05.8	564	77						
11		PM5 Memory	16.12.2019	11:18	1x500m/1:00m							02:45.8	500	28						
12		PM5 Memory	16.12.2019	11:18	1x500m/1:00m															17
13																				
14		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m 01:48.2	500	32	0				01:48.2	1250	276						
15		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m							00:21.4	300	36						
16		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m							00:22.2	300	32						
17		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m							00:21.0	300	34						
18		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m							00:23.6	400	30						
19		PM5 Memory	16.12.2019	12:47	500m							00:22.0	500	30						
20																				
21		PM5 Memory	16.12.2019	12:43	1x500m/1 02:04.5	500	38	0				02:04.5	924	181						
22		PM5 Memory	16.12.2019	12:43	1x500m/1:00m							02:04.5	500	38						
23		PM5 Memory	16.12.2019	12:43	1x500m/1:00m															18
24																				
25		PM5 Memory	16.12.2019	12:39	00:02:34 02:34.3	538	33	0				02:34.3	660	105						
26		PM5 Memory	16.12.2019	12:39	00:02:34							02:34.3	538	33						
27																				
28		PM5 Memory	16.12.2019	12:23	00:15:15 15:15.1	3058	28	0				02:31.7	844	100						
29		PM5 Memory	16.12.2019	12:23	00:15:15							05:00.0	1048	27						

Рис. 2. Відкритий у програмі Excel csv-файл з імпортованими даними з монітору PM5

Для формування бази даних файли з імпортованими результатами тренувань у кількості трьох було переглянуто вручну, втім на це було витрачено багато часу. Тому постало питання як можна автоматизувати цей процес, одразу отримавши тільки необхідні дані. Для вирішення цієї проблеми було досліджено бібліотеку Pandas мови програмування Python.

Pandas призначено для маніпулювання числовими таблицями та часовими рядами, а основною областю застосування є забезпечення збору та очищення даних, а також їх аналізу та моделювання. Головними структурами у Pandas є Series та DataFrame. Series представляє собою об'єкт, що схожий на одновимірний масив, однак його особливістю є наявність індексів уздовж кожного елементу зі списку. У свою чергу, DataFrame представляється у вигляді звичайної таблиці, у якій завжди присутні рядки та стовпці. У DataFrame стовпцями є об'єкти Series, рядки яких є їх безпосередніми елементами. До того ж Pandas підтримує всі найпопулярніші формати зберігання даних: csv, excel, sql, html тощо. Це робить можливість застосувати для очищення даних тренувань саме Pandas.

Для початку необхідно зчитати дані, що були імпортовані з моніторів трьох веслувальних тренажерів, що позначені номерами 5, 6 та 8, у відповідні датафрейми Pandas:

```
concept5Df = pd.read_csv("./LogBook5.csv", sep=';', header = [3])
concept6Df = pd.read_csv("./LogBook6.csv", sep=';', header = [3])
concept8Df = pd.read_csv("./LogBook8.csv", sep=';', header = [3])
```

Об'єднавши всі датафрейми в один, буде отриманий єдиний датафрейм з усіма тренуваннями на тренажерах:

```
conceptDf = pd.concat([concept5Df, concept6Df, concept8Df])
```

На наступному етапі необхідно у отриманому датафреймі залишити тільки результати студентських тестів на веслувальних тренажерах. Це можна зробити, залишивши у датафреймі тільки рядки, значення стовпця режиму тренування для яких дорівнює «0:06:00». Це ще не остаточно будуть тільки дані саме студентських тестів, зазначених у протоколі, оскільки можуть бути інші дані тренувань тривалістю 6 хвилин. Для цього спочатку приведемо тип даних у комірці режиму тренування до рядка (string), після чого відфільтруємо дані:

```
conceptDf['Workout Name'] = conceptDf['Workout Name'].
astype("string")
conceptDf = conceptDf[conceptDf['Workout Name'] == "0:06:00"]
```

Отриманий датафрейм представлено на рис. 3.

	Date	Time of Day	Time	Meters	Avg SPM	Time.1	Meters.1	SPM	Heart Rate	/500m	Cal/hr	Watt	Number
69	13.12.2019	04:55	06:00.0	1320.0	27.0	NaN	NaN	NaN	NaN	02:16.3	775.0	138.0	5
70	13.12.2019	04:55	NaN	NaN	NaN	02:00.0	429.0	26.0	0.0	02:19.8	740.0	128.0	5
71	13.12.2019	04:55	NaN	NaN	NaN	04:00.0	419.0	26.0	0.0	02:23.1	710.0	119.0	5
72	13.12.2019	04:55	NaN	NaN	NaN	06:00.0	473.0	29.0	0.0	02:06.8	890.0	171.0	5
84	13.12.2019	03:15	06:00.0	1462.0	28.0	NaN	NaN	NaN	NaN	02:03.1	945.0	188.0	5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
749	29.11.2019	11:43	NaN	NaN	NaN	04:00.0	431.0	24.0	0.0	02:19.2	746.0	130.0	8
750	29.11.2019	11:43	NaN	NaN	NaN	06:00.0	369.0	25.0	0.0	02:42.6	580.0	81.0	8
3040	16.04.2019	15:30	06:00.6	984.0	28.0	NaN	NaN	NaN	NaN	03:03.2	495.0	57.0	8
3041	16.04.2019	15:30	NaN	NaN	NaN	05:00.0	807.0	27.0	0.0	03:05.8	487.0	55.0	8
3042	16.04.2019	15:30	NaN	NaN	NaN	06:00.6	177.0	35.0	0.0	02:51.1	540.0	70.0	8

Рис. 3. Датафрейм із загальними даними тренувань тривалістю 6 хвилин на усіх веслувальних тренажерах

Достатньо великою проблемою при подальшому приведенні даних до таких, що можуть бути пристосовані для подальшого аналізу та застосування методів машинного навчання, є те, що у датафреймі результати одного окремого тренування представляються у чотирьох розташованих поряд рядках. Відповідно у першому з них визначаються дані результатів тренування за весь час його виконання. Відповідно подібні рядки у значенні стовпця з назвою “Time” мають значення «06:00.0» на відміну від наступних трьох рядків, для яких значення стовпця “Time” є порожнім, натомість не є порожнім значення стовпця “Time.1», що визначає певний проміжний період часу. Другий рядок з даними одного тренування представляє результати тренування впродовж перших двох хвилин тренування і у стовпці “Time.1» має значення «02:00.0», натомість значення стовпця “Time” є порожнім. Аналогічно третій на четвертий рядки представляють результати тренування впродовж двох наступних хвилин (третьої та четвертої) та двох останніх хвилин (п’ятої та шостої) відповідно. Значення стовпців “Time.1» для цих рядків становитимуть «04:00.0» та «06:00.0».

Описана структура є досить важкою для подальшої обробки, тому необхідно відфільтрувати окремі рядки у датафрейми, а потім об’єднати їх в один. Для цього спочатку виділяємо датафрейм із загальними даними за весь час тренування, привівши до того значення стовпця “Time” до типу “string”:

```
conceptDf['Time'] = conceptDf['Time'].astype("string")
conceptFulltimeDf = conceptDf[conceptDf['Time'] == "06:00.0"]
```

Далі для того, щоб у подальшому об'єднати отриманий датафрейм з іншими, з нього потрібно видалити стовпці, що точно мають порожні значення (відповідно вони матимуть непорожні значення для датафреймів з даними тренувань за певні проміжні періоди часу):

```
conceptFulltimeDf = conceptFulltimeDf.drop(columns = ["Time.1",
" Meters.1", "SPM", "Heart Rate"])
```

Так само виділяємо в окремі датафрейми дані тренування за певні зазначені вище періоди, оброблюючи дані стовпчика "Time.1" у вхідному датафреймі:

```
conceptDf['Time.1'] = conceptDf['Time.1'].astype("string")
concept2MinDf = conceptDf[conceptDf['Time.1'] == "02:00.0"]
concept2MinDf = concept2MinDf.drop(columns=["Time", "Meters",
"Avg SPM", "Number"])
concept4MinDf = conceptDf[conceptDf['Time.1'] == "04:00.0"]
concept4MinDf = concept4MinDf.drop(columns=["Time", "Meters",
"Avg SPM", "Number"])
concept6MinDf = conceptDf[conceptDf['Time.1'] == "06:00.0"]
concept6MinDf = concept6MinDf.drop(columns=["Time", "Meters",
"Avg SPM", "Number"])
```

Перед об'єднанням всіх датафреймів в один результуючий маємо ще одну проблему, що полягає у однаковій назві певних стовпців для датафреймів з результатами за проміжні періоди. Тому необхідно задати таким стовпцям унікальні імена, виділивши у ньому конкретний період часу:

```
concept2MinDf = concept2MinDf.drop(columns=["Heart Rate", "Time.1"])
concept2MinDf = concept2MinDf.rename(columns = {'Meters.1':
'Meters_2min', 'SPM': 'SPM_2min', '/500m': '/500m_2min', 'Cal/hr': 'Cal/
hr_2min', 'Watt': 'Watt_2min'})
```

Такі самі дії виконаємо і для двох інших датафреймів з даними проміжних періодів.

Останнім етапом перед об'єднанням датафреймів є перевстановлення індексу у кожному датафреймі, щоб подальше об'єднання здійснилося правильно, та видалення стовпців зі старими індексами.

```
conceptFulltimeDf = conceptFulltimeDf.reset_index()
conceptFulltimeDf = conceptFulltimeDf.drop(columns="index")
concept2MinDf = concept2MinDf.reset_index()
concept2MinDf = concept2MinDf.drop(columns=["index", "Date",
"Time of Day"])
```

Слід зазначити, що у датафреймах з результатами за окремі проміжки часу також були видалені стовпці з назвами "Date" та "Time of day" для запобігання стовпців-дублікатів, оскільки ті самі дані присутні у відповідних стовпцях датафрейму з результатами за загальний час.

Тепер можна об'єднати всі датафрейми методом concat для отримання одного результуючого. Назвемо його tempDf та видалимо у ньому стовпець "Time", оскільки до всіх рядків у ньому буде єдине значення («06:00.0»), тому він у подальшому вже не буде потрібний.

Датафрейм tempDf містить очищені дані виконання тесту на веслувальному тренажері Concept2, в якому один рядок представляє дані конкретного тренування

та містить всі необхідні для подальшого аналізу характеристики як для загальних результатів, так і для результатів за три проміжні відрізки часу відповідного тренування. Даний датафрейм представлено на рис. 4.

	Date	Time of Day	Meters	Avg SPM	1500m	Cal/hr	Watt	Number	Meters_2min	SPM_2min	...	Meters_4min	SPM_4min	1500m_4min	Cal/hr_4min	Watt_4m
0	13.12.2019	04:55	1320.0	27.0	02:16.3	775.0	138.0	5	429.0	28.0	...	419.0	28.0	02:23.1	710.0	119
1	13.12.2019	03:15	1452.0	28.0	02:03.1	945.0	188.0	5	439.0	28.0	...	902.0	28.0	01:59.5	906.0	205
2	11.12.2019	02:50	1265.0	26.0	02:22.2	718.0	121.0	5	447.0	27.0	...	423.0	25.0	02:21.8	722.0	123
3	11.12.2019	02:36	1111.0	28.0	02:42.0	583.0	92.0	5	406.0	31.0	...	350.0	26.0	02:51.4	539.0	69
4	11.12.2019	02:22	1258.0	32.0	02:22.9	712.0	120.0	5	452.0	34.0	...	402.0	31.0	02:29.2	662.0	105
...																
155	29.11.2019	12:30	1680.0	29.0	01:48.5	1296.0	290.0	8	618.0	33.0	...	544.0	28.0	01:50.2	1187.0	261
156	29.11.2019	12:19	1677.0	24.0	03:14.1	464.0	48.0	8	314.0	24.0	...	292.0	23.0	03:25.4	438.0	40
157	29.11.2019	12:08	1677.0	27.0	02:47.1	558.0	75.0	8	350.0	26.0	...	359.0	26.0	02:47.1	558.0	75
158	29.11.2019	11:57	1667.0	27.0	02:45.5	565.0	77.0	8	383.0	24.0	...	365.0	25.0	02:44.3	571.0	79
159	29.11.2019	11:45	1164.0	24.0	02:32.0	642.0	100.0	8	384.0	25.0	...	431.0	24.0	02:19.2	746.0	130

200 rows x 23 columns

Рис. 4. Датафрейм з очищеними даними студентських тренувань на всіх тренажерах

Втім, отриманий датафрейм ще не можна назвати результуючим, оскільки у ньому поки не присутні антропологічні дані студентів, що зазначені у протоколах.

У свою чергу дані протоколів проходження тестів на веслувальних тренажерах збережені у файлі формату `xlsx`, який має два аркуші, у яких зберігаються дані окремо українських та індійських студентів відповідно.

Подібно методу зачитування даних з файлу формату `csv` бібліотека `Pandas` підтримує і метод зачитування даних формату `xlsx`. Тоді зчитуємо дані з відповідних аркушів, додавши при цьому до кожного датафрейму стовпець зі значенням національності студента ("Nationality"):

```
protocolsUkrDf = pd.read_excel("./Protocols.xlsx", sheet_name = "Ukrainians")
```

```
protocolsUkrDf = protocolsUkrDf.assign(Nationality = "Ukrainian")
```

```
protocolsIndDf = pd.read_excel("./Protocols.xlsx", sheet_name = "Indians")
```

```
protocolsIndDf = protocolsIndDf.assign(Nationality = "Indian")
```

Оскільки обидва датафрейми мають однакову структуру, то їх можна об'єднати в один результуючий датафрейм методом `concat`:

```
protocolsDf = pd.concat([protocolsUkrDf, protocolsIndDf])
```

Після цього в отриманому датафреймі перевстановимо індекс та видалимо стовпці "ID" та "Index", оскільки вони більше не будуть потрібні.

```
protocolsDf = protocolsDf.reset_index()
```

```
protocolsDf = protocolsDf.drop(columns=["index", "ID"])
```

Об'єднаний датафрейм з даними протоколів представлено на рис. 5.

Таким чином, було отримано два датафрейми. Перший представляє дані результатів проходження тесту на веслувальних тренажерах, а другий – дані протоколів. Для отримання вихідного датафрейму, готового для застосування на ньому методів машинного навчання, у якому були б представлені абсолютно всі характеристики, потрібно об'єднати зазначені вище датафрейми в один. Втім ці



датафрейми мають абсолютно різну структуру. Також можна припустити, що вони можуть мати різну кількість рядків, оскільки при заповненні протоколів вручну має місце людський фактор, коли результати певного тренування могли бути не внесені у відповідний файл .xlsx. Також у датафреймі результатів тесту на веслувальних тренажерах можуть бути присутні зайві рядки через те, що у деякий момент часу могло мати місце тренування режиму тривалості 6 хвилин, яке не стосується проходження тестів студентами на веслувальному тренажері, що вказано у відповідному файлі протоколів. На попередньому етапі очищення даних такі рядки виявити такі рядки, а потім і видалити їх, було неможливо.

	Date	Time	ConceptNumber	Name	Sex	Distance	Age	HeartRateBefore	HeartRateAfter	Height	Weight	
0	2019-11-29	16:01:00	5	[REDACTED]		1547	20	120		180	193	75.0
1	2019-11-29	09:44:00	5	[REDACTED]	ч	1431	19	130		190	181	120.0
2	2019-11-29	10:59:00	5	[REDACTED]	ч	1346	19	100		190	181	72.0
3	2019-11-29	12:30:00	8	[REDACTED]	ч	1690	20	80		180	196	78.0
4	2019-11-29	12:21:00	5	[REDACTED]	ч	1463	19	130		200	173	73.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
191	2019-12-11	12:00:00	8	[REDACTED]	ч	1234	19	120		230	171	48.0
192	2019-12-11	11:50:00	5	[REDACTED]	ч	1111	19	120		230	171	48.0
193	2019-12-11	12:42:00	6	[REDACTED]	ч	1309	21	108		150	171	53.0
194	2019-12-11	12:14:00	8	[REDACTED]	ч	1382	21	120		150	169	62.0
196	2019-12-11	12:04:00	5	[REDACTED]	ч	1265	19	100		190	190	66.0

196 rows x 12 columns

Рис. 5. Кінцевий датафрейм з даними протоколів

Тому, для об'єднання двох зазначених датафреймів вже неможливо застосувати метод `concat`, оскільки для його застосування датафрейми повинні мати однакову кількість рядків. Щоб об'єднати датафрейми результатів тренувань на тренажерах та даних протоколів, більше підходить метод `join`, який виконує об'єднання двох датафреймів подібно до операції `JOIN` у мові `SQL` для об'єднання двох реляційних таблиць [8]. Для цього у датафреймах повинно бути одне або декілька спільних полів.

Такими полями можуть бути дата, час та номер тренажера. Втім, з полями дати можуть виникнути проблеми, що пов'язані з неправильним форматом. Якщо розглянути датафрейм із даними протоколів, то значення відповідного стовпця зчитались як рядок, те саме можна сказати і про час. Серед типів даних, що можуть бути використані у `Pandas`, є тип `datetime64`, який одночасно визначає дату та час. Тому далі доцільно сформувати новий стовпчик, що буде об'єднаним значенням дати та часу, а потім перетворити його у тип `datetime64`.

```
protocolsDf = protocolsDf.assign(Date_Time = protocolsDf.Date +  
" " + protocolsDf.Time)
```

```
protocolsDf["Date_Time"] = protocolsDf["Date_Time"].  
astype("datetime64[ns]")
```

Те саме проробимо і з відповідними стовпцями сформованого до цього датафрейму результатів тренувань на веслувальних тренажерах. До того ж у ньому значення стовпця дати представлено в іншому форматі, що відрізняються від формату дати у файлі з даними протоколів. Тому спочатку приводимо значення стовпця "Date" до дати, вказавши відповідний формат, а потім здійсимо ті самі операції, що і у випадку датафрейму з даними протоколів.

```
tempDf['Date']=pd.to_datetime(tempDf['Date'],format='%d.%m.%Y').
dt.date
tempDf["Date"] = tempDf["Date"].astype("string")
tempDf["Time of Day"] = tempDf["Time of Day"].astype("string")
tempDf = tempDf.assign(Date_Time = tempDf["Date"] + " " +
tempDf["Time of Day"])
tempDf["Date_Time"]=tempDf["Date_Time"].astype("datetime64[ns]")
```

Далі було помічено, що один з тренажерів, а саме тренажер з інвентарним номером 5 мав неправильні установки часу, через що час на ньому відставав від правильного часу на 9 годин та 14 хвилин. Цей факт примусив виконувати додаткові перетворення, для яких довелося використати клас `timedelta` зі стандартної бібліотеки Python під назвою `datetime`:

```
from datetime import timedelta
delta = timedelta(hours=9, minutes=14)
```

Для застосування зміщення часу тимчасово довелося привести значення стовпця `"Date_Time"` до типу `datetime` з однойменної бібліотеки мови Python.

Інша проблема полягала у тому, що не для всіх рядків датафрейму результатів тренувань значення часу потрібно змінювати, а тільки для тих рядків, що відповідають результатам на тренажері 3 номером 5.

Для цього виділяємо тимчасові датафрейми з результатами на тренажері з номером 5 та на інших тренажерах. Назвемо відповідно ці датафрейми `Concept5Df` та `Concept68Df`. Далі для першого з датафреймів створюємо новий стовпець зі зміщеним часом, видалимо стовпець з новим часом та здамо новому стовпцю назву видаленого. Наприкінці об'єднуємо тимчасові датафрейми, отримавши новий датафрейм зі всіма результатами тренувань на тренажерах.

```
concept5Df = tempDf[tempDf["Number"] == "5"]
concept68Df = tempDf[tempDf["Number"] != "5"]
concept5Df = concept5Df.assign(TempDateTime = concept5Df.Date_
Time + delta)
concept5Df = concept5Df.drop(columns="Date_Time")
concept5Df=concept5Df.rename(columns={"TempDateTime":"Date_
Time"})
tempDf = pd.concat([concept5Df,concept68Df])
```

Останньою операцією є об'єднання отриманих датафреймів результатів тренування та протоколів. З'єднувальними стовпцями у цьому випадку будуть дата початку тренування та інвентарний номер тренажера. Другий стовпець необхідно включити, оскільки деякі тренування могли початись одночасно на різних тренажерах, тому в якості первинного ключа повинна бути сукупність дати та номера тренажера.

Для об'єднання було застосовано метод `merge` бібліотеки `Pandas`, який працює подібно операції `JOIN` у мові `SQL`:

```
resultDf = pd.merge(tempDf, protocolsDf, how="right", on=["Date_
Time", "Number"])
```

В результаті було отримано кінцевий датафрейм, представлений на рис. 6.

Отриманий датафрейм містить всі необхідні дані та може бути використаний для подальшого аналізу та застосування методів машинного навчання для прогнозування майбутніх результатів.

	Date_Time	Meters	Avg SPM	500m	Cal/hr	Watt	Number	Meters_2min	SPM_2min	500m_2min	Watt_5min	Name	Sex	Distance	Age	HeartRate
0	2019-12-06 12:29:00	501	24	03:19.7	451	44	5	280	34	03:30.0	54		ж	501.0	19.0	
1	2019-12-02 14:33:00	571	28	03:05.3	489	55	5	319	30	03:06.0	60		ж	571.0	18.0	
2	2019-12-04 15:28:00	583	31	03:02.1	499	58	5	314	31	03:11.0	71		ж	583.0	20.0	
3	2019-12-11 11:22:00	1019	25	02:56.8	517	63	5	384	27	02:36.2	47		ж	1023.0	20.0	
4	2019-12-04 12:16:00	1023	26	02:55.9	521	64	5	330	27	03:01.0	61		ж	1030.0	18.0	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
191	2019-12-02 13:36:00	1436	31	02:05.3	611	178	8	496	32	02:00.9	175		ч	1600.0	17.0	
192	2019-12-19 15:57:00	1437	29	02:05.2	612	176	6	500	26	01:56.1	171		ч	1520.0	18.0	
193	2019-12-02 09:29:00	1497	29	02:00.2	592	201	6	475	29	02:06.0	234		ч	1523.0	19.0	
194	2019-12-02 12:20:00	1499	30	02:00.0	666	202	8	530	31	01:51.5	176		ч	1544.0	20.0	
195	2019-12-09 13:30:00	1500	30	02:00.0	597	202	6	505	31	01:56.6	166		ч	1690.0	20.0	

195 rows x 31 columns

Рис. 6. Кінцевий датафрейм

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Таким чином, було здійснено обробку імпортованих даних тренувань на веслувальних тренажерах Concept2, що складається з очищення непотрібних даних та об'єднання необхідних даних з даними, зазначеними у протоколах виконання веслувальних тестів студентами ЧНУ імені Петра Могили. Описаний підхід буде використаний у подальшому проведенні тестів на веслувальних тренажерах після завершення воєнного стану. Структури даних, отримані в результаті обробки, планується використовувати для подальшого аналізу з виявлення залежностей між антропометричними даними студентів та їх результатами, показаними при виконання веслувальних тестів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. P. Lamb, R. Bartlett, A. Robins. Self-organizing maps: An objective method for clustering complex human movement. *International Journal of Computer Science in Sport*, 9(1), 2010. P. 20–29.
2. H. Ghasemzadeh, R. Jafari. Coordination analysis of human movements with body sensor networks: A signal processing model to evaluate baseball swings. *IEEE Sensors Journal*, 11(3), 2011. P. 603–610.
3. A. Baca. Methods for recognition and classification of human motion patterns—a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(2), 2012. P. 55–61.
4. H. Novatchkov, A. Baca. Fuzzy logic in sports: a review and an illustrative case study in the field of strength training. *International Journal of Computer Applications*, 71(6), 2013. P. 8–14.
5. J. Wang, R. Chen, X. Sun, M. F. She, etc. Recognizing human daily activities from accelerometer signal. *Procedia Engineering*, 15, 2011. P. 1780–1786.
6. K. Taylor, U. A. Abdulla, R. J. Helmer, J. Lee, etc. Activity classification with smart phones for sports activities. *Procedia Engineering*, 13, 2011. P. 428–433.
7. Concept2 Rowing Machine – RowErg with PM5 – By Direct. URL: <https://www.concept2.com/indoor-rowers/concept2-rowerg> (дата звернення: 23.05.23).

8. B. Bateman, S. Basak, T. Joseph, W. So. The Pandas Workshop. Packt Publishing, 2022. 744 p.

#### REFERENCES:

1. P. Lamb, R. Bartlett, A. Robins. Self-organizing maps: An objective method for clustering complex human movement. *International Journal of Computer Science in Sport*, 9(1), 2010. pp. 20–29.
  2. H. Ghasemzadeh, R. Jafari. Coordination analysis of human movements with body sensor networks: A signal processing model to evaluate baseball swings. *IEEE Sensors Journal*, 11(3), 2011. pp. 603–610.
  3. A. Baca. Methods for recognition and classification of human motion patterns-a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(2), 2012. pp. 55–61.
  4. H. Novatchkov, A. Baca. Fuzzy logic in sports: a review and an illustrative case study in the field of strength training. *International Journal of Computer Applications*, 71(6), 2013. pp. 8–14.
  5. J. Wang, R. Chen, X. Sun, M. F. She, etc. Recognizing human daily activities from accelerometer signal. *Procedia Engineering*, 15, 2011. pp. 1780–1786.
  6. K. Taylor, U. A. Abdulla, R. J. Helmer, J. Lee, etc. Activity classification with smart phones for sports activities. *Procedia Engineering*, 13, 2011. pp. 428–433.
  7. Concept2 Rowing Machine – RowErg with PM5 – By Direct. URL: <https://www.concept2.com/indoor-rowers/concept2-rowerg> (дата звернення: 23.05.23).
  8. B. Bateman, S. Basak, T. Joseph, W. So. The Pandas Workshop. Packt Publishing, 2022. 744 p.
-

УДК 621.317.77

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.5>

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

**Дуднік А. С.** – доктор технічних наук, доцент,  
доцент кафедри мережевих та інтернет технологій  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
ORCID ID: 0000-0003-1339-7820

**Квашук Д. М.** – кандидат економічних наук, доцент,  
докторант кафедри електроенергетичних систем та технологій  
Національного авіаційного університету  
ORCID ID: 0000-0002-4591-8881

**Жихарев С. М.** – студент кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки  
Національного авіаційного університету  
ORCID ID: 0009-0003-1176-7418

Нейронні мережі, можуть використовуватися не лише в системах керування електродвигунами, з метою оптимізації їх роботи, а й в інформаційно-вимірювальних системах, які використовуються для контролю та діагностики обертальних параметрів електричних машин. Таке використання дозволить зменшити похибки, які пов'язані із рядом дестабілізуючих факторів. Особливо це стосується роботи вимірювальних приладів в умовах невизначеності. Традиційні методи діагностики та контролю, такі як аналіз гармонік та спектральний аналіз, часто є часозатратними. У цьому контексті, нейронні мережі відкривають нові горизонти, забезпечуючи швидку та ефективну альтернативу. У зв'язку з цим в статті досліджуються можливості нейронних мереж, які можна використати для аналізу та ідентифікації шаблонів на основі даних, отриманих від сенсорів напруги, струму, кутової швидкості, кутового прискорення та обертального моменту, які мають взаємозв'язок з конкретними станами та характеристиками обертального руху електродвигунів. Ця здатність нейронних мереж дозволяє прогнозувати обертальний момент електродвигуна, яку можна використовувати для корегування вихідних параметрів вимірювальних приладів. В результаті дослідження було представлено методику застосування нейронних мереж для оцінювання зворотного зв'язку сигналу від сенсору обертального моменту, в приводі постійного струму, з метою визначення параметрів обертального моменту. Запропоновано тришарову нейронну мережу, яка пройшовши інтенсивне навчання тестувалася на вимірювальному стенді, з метою визначення оптимальних режимів роботи. Застосування моделі, дозволило збільшити точність вимірювання обертального моменту за рахунок прогнозування окремих вихідних параметрів, що піддаються впливу вібрацій та температурних коливань, які змінюють пружність динамометричних вимірювальних елементів.

**Ключові слова:** обертальний момент, електродвигун, нейронна мережа, вимірювання, прилад, похибка, обертальні параметри.

**Dudnik A. S., Kvashuk D. M., Zhikhariev S. M. Methods of measuring torques of electric motors using artificial neural networks**

Neural networks can be used not only in electric motor control systems to optimize their operation, but also in information and measurement systems that are used to control and diagnose the rotational parameters of electric machines. Such use will allow to reduce the errors that are associated with a number of destabilizing factors. This especially applies to the operation of measuring devices in conditions of uncertainty. Traditional diagnostic and control methods, such as harmonic analysis and spectral analysis, are often time-consuming. In this context, neural networks open new horizons, providing a fast and efficient alternative. In this regard, the article explores the possibilities of neural networks that can be used to analyze and identify patterns

based on data obtained from voltage, current, angular velocity, angular acceleration, and torque sensors that are related to specific states and characteristics of rotary motion of electric motors. This ability of neural networks allows you to predict the torque of the electric motor, which can be used to adjust the output parameters of the measuring devices. As a result of the study, the method of using neural networks for evaluating the feedback signal from the torque sensor in the direct current drive was presented in order to determine the parameters of the torque. A three-layer neural network is proposed, which, after undergoing intensive training, was tested on a measuring bench in order to determine the optimal operating modes. Application of the model made it possible to increase the accuracy of torque measurement by predicting individual initial parameters that are affected by vibrations and temperature fluctuations that change the elasticity of dynamometric measuring elements.

**Key words:** torque, electric motor, neural network, measurement, device, error, rotational parameters.

**Постановка проблеми.** В процесі вимірювання обертальних параметрів електродвигунів можуть виникнути проблеми пов'язані з точністю, викликані рядом дестабілізуючих факторів, а також неможливістю безпосереднього вимірювання моменту на валу, нестабільністю робочого середовища, тощо. Особливо це стосується великих потужностей та високих швидкостей. В реальному середовищі сигнали часто спотворюються шумами та різними перешкодами, що можуть знизити якість вимірювань. Умови роботи електродвигунів можуть змінюватися, що створює додаткові виклики для точного вимірювання обертальних моментів.

Вирішити проблему точності та швидкодії за відсутності достатньої кількості інформативних параметрів та належної точності вимірювальних перетворювачів можна використовуючи засоби штучного інтелекту. Так, нейронні мережі можуть стати потужним інструментом для її вирішення, оскільки вони можуть навчатися на великих наборах даних, вивчаючи складні залежності між різними параметрами електродвигуна. Вони можуть бути ефективні в виявленні корисних сигналів серед шумів, оскільки можуть вивчити, які шаблони в отриманих даних є важливими. Використовуючи нейронні мережі можна адаптувати вимірювальні системи до нових режимів роботи електричних машин.

**Аналіз літератури.** В роботі [1] представлено зв'язки між змінними та параметрами двигуна постійного струму:

$$\begin{aligned} u(t) - e(t) &= Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \\ T_m(t) - T_l(t) &= fV(t) + J_m \frac{dV(t)}{dt}, \\ T_m(t) &= K_t V(t) \\ e(t) &= K_e V(t) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $u$  – напруга,  $e$  – ЕРС;  $i$  – сила струму,  $T_m$  електромагнітний момент,  $T_l$  момент навантаження;  $V$  – швидкість обертання;  $R$  – опір котушок статора,  $L$  – індуктивність,  $J_m$  – момент інерції ротора,  $f$  – коефіцієнт тертя,  $K_e$  електрорушійна постійна, яка виникає при обертанні двигуна та відносить обертальну швидкість електродвигуна до вихідної електрорушійної сили;  $K_t$  – постійна обертального моменту, відома як константа обертального моменту, в даній формулі відіграє роль константи пропорційності між струмом, що протікає через двигун, і крутним моментом, який він генерує.

Ця формула застосовується до двигунів постійного струму, оскільки в двигунах постійного струму є пряма взаємодія між струмом і обертальним моментом, а також між швидкістю обертання та противо-ЕРС.

Однак, слід зазначити, що в інших типах двигунів, таких як асинхронні, або синхронні двигуни змінного струму, взаємозв'язки між цими змінними можуть бути значно складнішими і можуть вимагати додаткових розрахунків, або методів вимірювання для визначення обертового моменту.

Провівши моделювання за формулою (1) найбільш розповсюджених параметрів електродвигунів постійного струму (табл. 1), отримаємо графік перехідного процесу під час запуску електродвигуна, який характеризує зміну струму та кутової швидкості (рис. 1)

Таблиця 1

Вихідні параметри електродвигуна постійного струму

	Параметр	Значення
1	$u$ – напруга	10 В
2	$i$ – сила струму	1 А
3	$V$ – швидкість обертання	1000 об/хв
4	$R$ – опір котушок с	1.0 Ом
5	$L$ – індуктивність	0.5 Гн
6	$J_m$ – момент інерції ротора	0.01 кг·м <sup>2</sup>
7	$f$ – коефіцієнт тертя	0.1
8	$K_e$ – електрорушійна постійна	0.01
9	$K_t$ – постійна обертового моменту	0.01

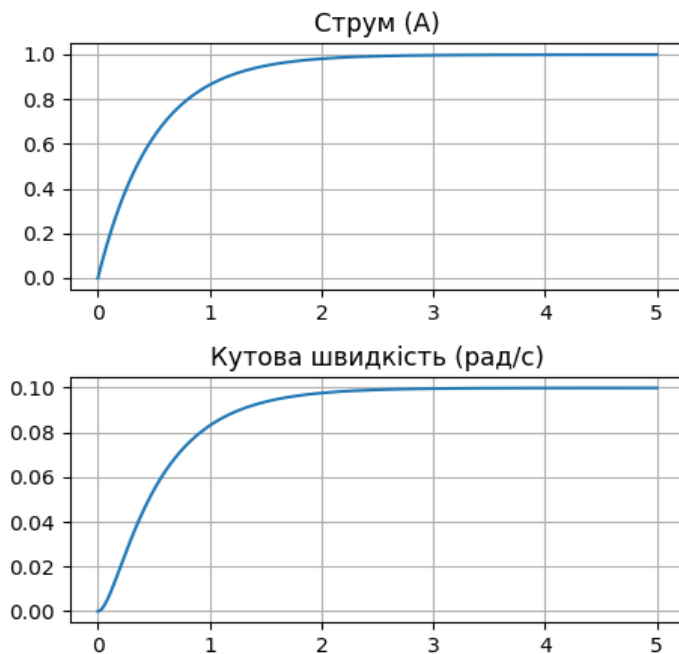


Рис. 1. Перехідна характеристика зміни струму та кутової швидкості електродвигуна постійного струму

Для визначення змін електромагнітних моментів та моментів навантаження можна побудувати диференційні рівняння, на основі формули (1):

$$\begin{aligned} \frac{dT_m(t)}{dt} &= K_t \cdot i(t) \\ \frac{dT_l(t)}{dt} &= f \cdot V(t) + J_m \cdot \frac{dV(t)}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

Так, можна визначити зміни  $T_m$  та  $T_l$  в часі. Потім інтегрувавши ці рівняння можна отримати дійсні значення цих змінних, використовуючи нейронну мережу за допомогою якої, встановити залежність між вхідними та вихідними параметрами. Структурна модель динамічних характеристик, які описують зворотній зв'язок для підтримки режиму управління електродвигуном згідно [1], представлено на рис. 2.

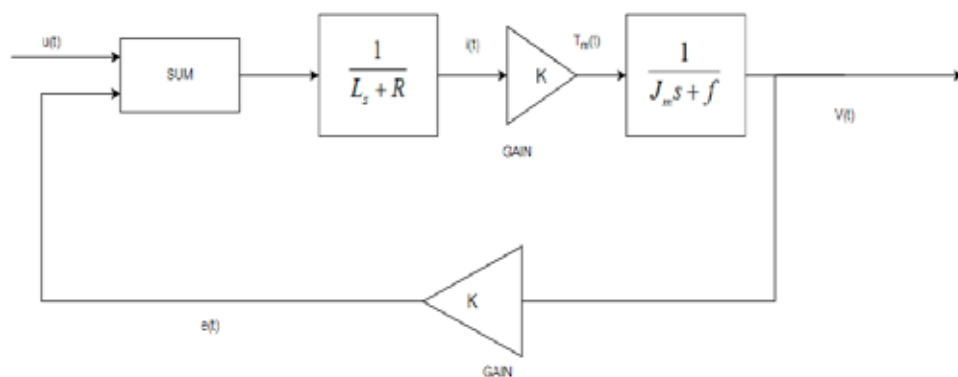


Рис. 2 Структурна модель динамічних характеристики електродвигуна постійного струму

Проте, зважаючи на вплив додаткових факторів під час вимірювання обертових параметрів електродвигунів слід враховувати нелінійність пружних властивостей валу в залежності від температури, вібрації, силу тертя підшипників, тощо. Для вирішення цієї проблеми в роботі [2] було запропоновано використання нейронних мереж для оцінювання сигналів зворотного зв'язку в приводах двигунів на основі цифрової обробки сигналу.

Автори використовують прямий нейронний мережевий прогон, який отримує сигнали на вході привода з прямим векторним управлінням та обчислює обертовий момент, потік та одиничні вектори на виході системи.

Так, було отримано результат, який показав ефективність використання нейронної мережі для оцінки швидкості та обертового моменту електродвигуна, порівняно з базовою оцінкою. Разом з тим, було доведено, що нейронна мережа може використовуватись в умовах впливу дестабілізуючих факторів.

**Мета статті.** Запропонувати методику вимірювання обертових моментів електродвигунів із застосуванням нейронних мереж на основі ряду інформаційних параметрів, які характеризують їх роботу в динаміці.

**Виклад основного матеріалу.** Основні сфери застосування нейронних мереж для вимірювання обертових параметрів електродвигунів представлено на рис. 3.



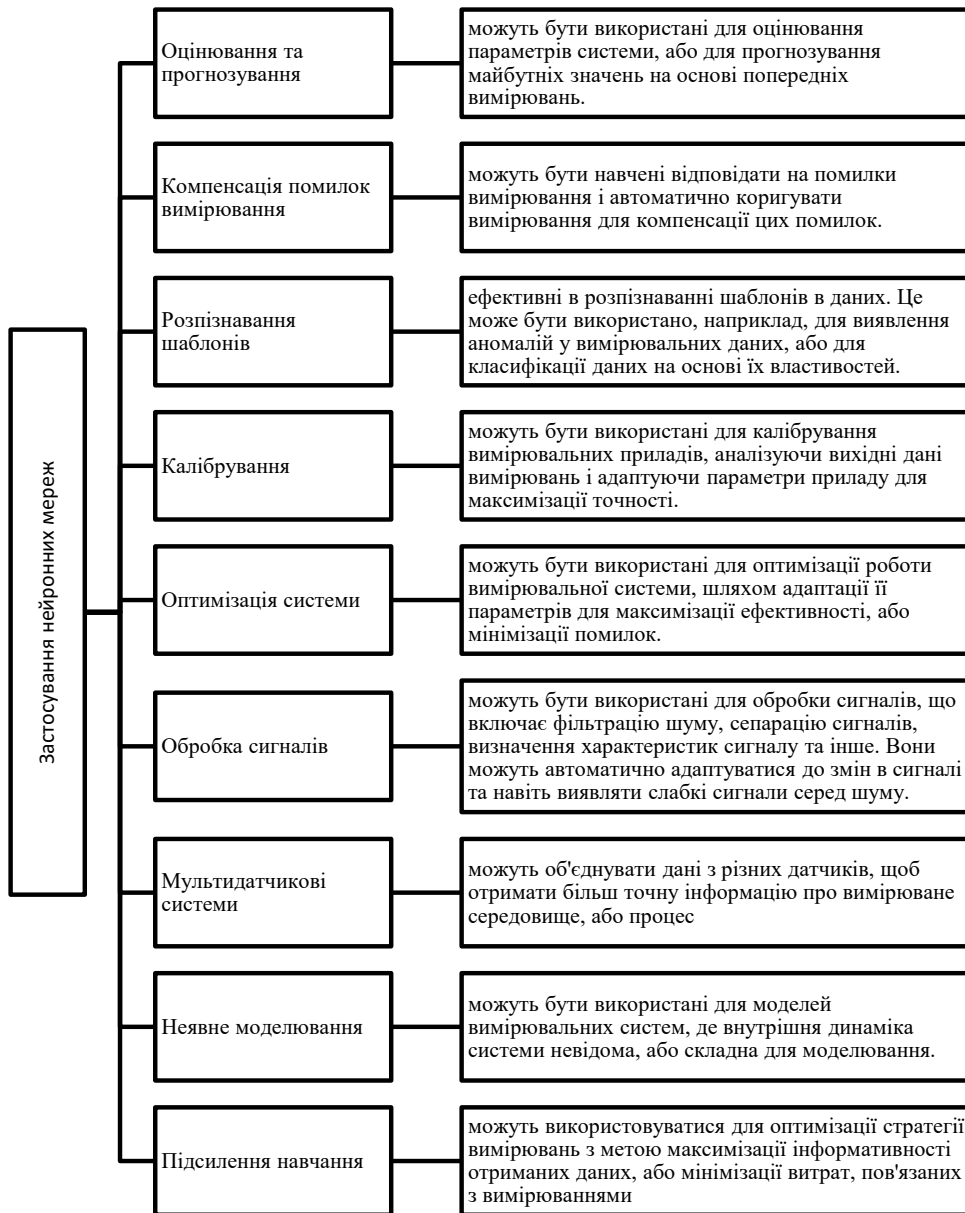


Рис. 3 Сфери застосування нейронних мереж для вимірювання обертальних параметрів електродвигунів

Виходячи із рис. 3, можна виділити ряд проблем, які можна вирішити з використанням нейронних мереж.

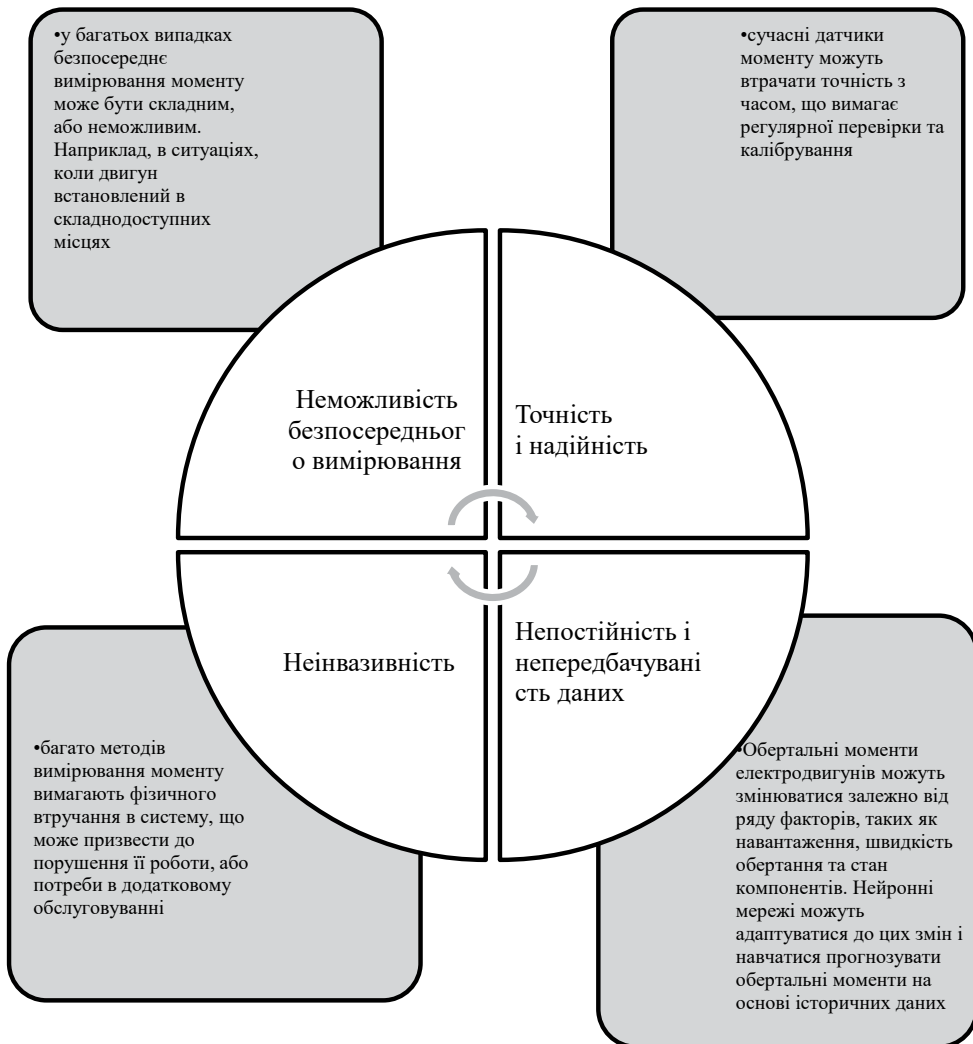


Рис. 4. Проблеми, які можна вирішити із застосуванням нейронних мереж у сфері вимірювань обертальних параметрів електродвигунів

Так, у умовах, коли існує потреба в розробці більш точних, надійних, економічних та менш інвазивних методів вимірювання обертального моменту, застосування нейронних мереж, для оцінки цього параметру на основі інших вимірюваних параметрів системи, таких як напруга, струм, швидкість обертання тощо, є найбільш перспективним.

Для прикладу вирішення такої задачі було отримано дані з розробленого випробувального стенду [3], який дозволяє визначити показники напруги, струму, потужності, частоти обертання ротора електродвигуна, обертального моменту (рис. 5, 6), які використовувались для навчання нейронної мережі.

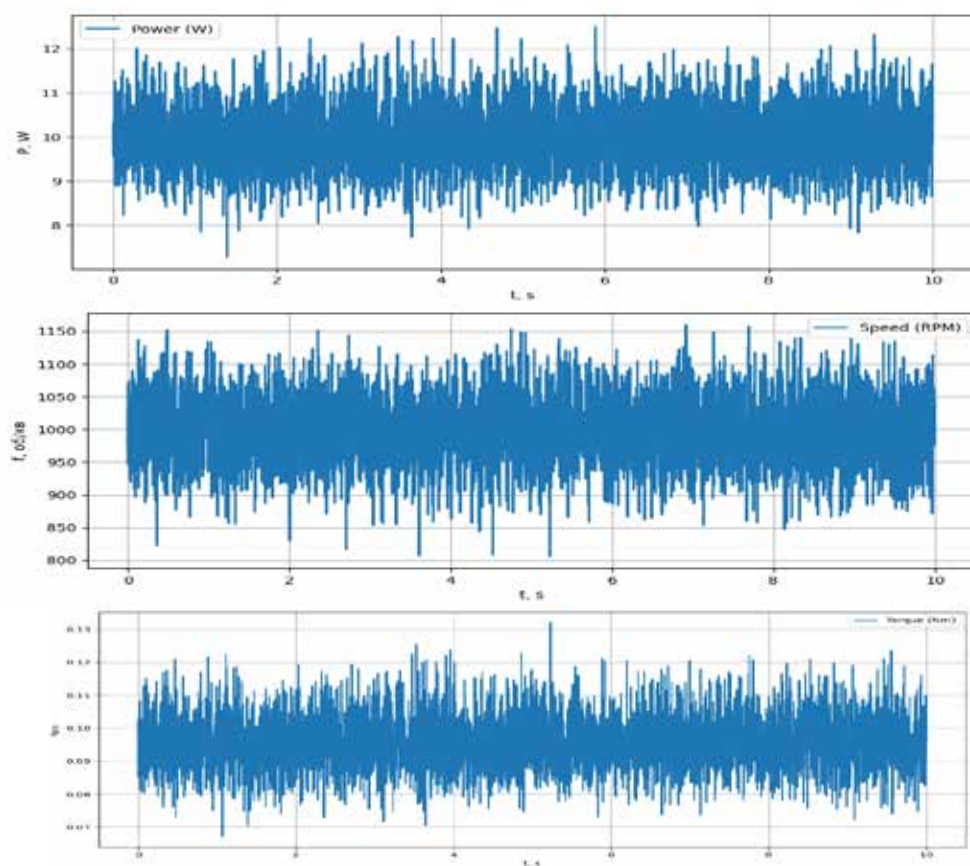


Рис. 5. Параметри електродвигуна постійного струму в сталому режимі роботи

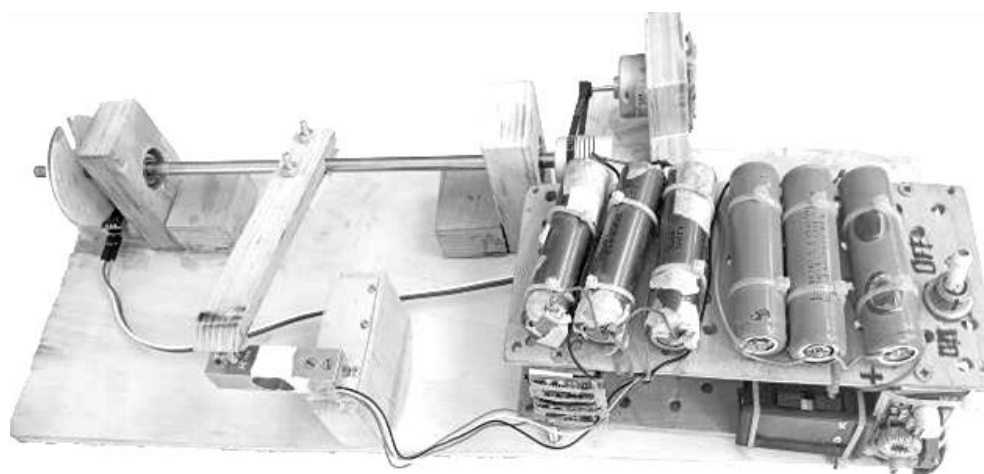


Рис. 6. Випробувальний стенд, [3]

Визначено вхідні та вихідні параметри моделі.

Вхідні параметри:

- напруга ( $I$ )
- струм ( $J$ )
- потужність ( $P$ )
- частота обертання ротора ( $f$ )

Вихідний параметр:

- обергальний момент ( $M$ )

Математичне представлення одного шару нейронної мережі може бути записане так:

$$a_i = \sigma \left( \sum_j \omega_{ji} x_j + b_i \right), \quad (3)$$

де  $a_i$  – активація  $i$ -го нейрона;  $\sigma$  – активаційна функція;  $\omega_{ji}$  – вага, що з'єднує  $j$ -й вхід із  $i$ -м нейроном;  $x_j$  –  $j$ -й вхідний сигнал;  $b_i$  – зсув  $i$ -го нейрона.

Ця формула повторюється для кожного шару мережі. Для багатозарової мережі виходи одного шару стають входами наступного.

Отримані вхідні параметри для навчання моделі можуть бути використані для визначення обергального моменту (рис. 7).

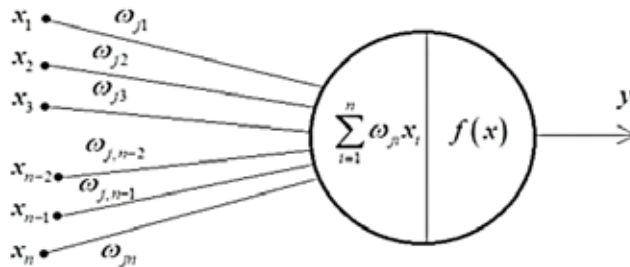


Рис. 7. Графічна модель обробки даних

В даному випадку можна застосувати базову модель нейронної мережі (ANN). Цей тип нейронної мережі називається «прямопроходним», тому що інформація проходить через мережу в одному напрямку: від входу, через приховані шари, до виходу.

В даній моделі є наступні складові: вхідний шар, що приймає вхідні дані. У нашому випадку ми використовуємо чотири вхідні змінні, а саме напругу, струм, частоту обертання і потужність; прихований шар: тут дані проходять через ваги, які навчаються під час процесу навчання мережі. вихідний шар: це результат, який ми отримуємо від мережі. У нашому випадку це прогнозований обергальний момент.

Так, модель має 1 прихований шар з 10 нейронами. На виході використовується лінійна функція активації, оскільки ми прогнозуємо континуальну змінну. Оптимізатор, що використовується для тренування мережі Adam (adaptive moment estimation), [4] поєднує в собі ідею накопичення руху та ідею слабшого оновлення ваг для типових ознак. Функція втрат використовує середньо квадратичну похибку, що є стандартною метрикою для задач прогнозування в неперервному просторі.

На основі отриманих тестових даних можна побудувати нейронну мережу використовуючи програмну бібліотеку KERAS, [5] та отримати значення обертового моменту при наступних показниках струму, рис. 8.

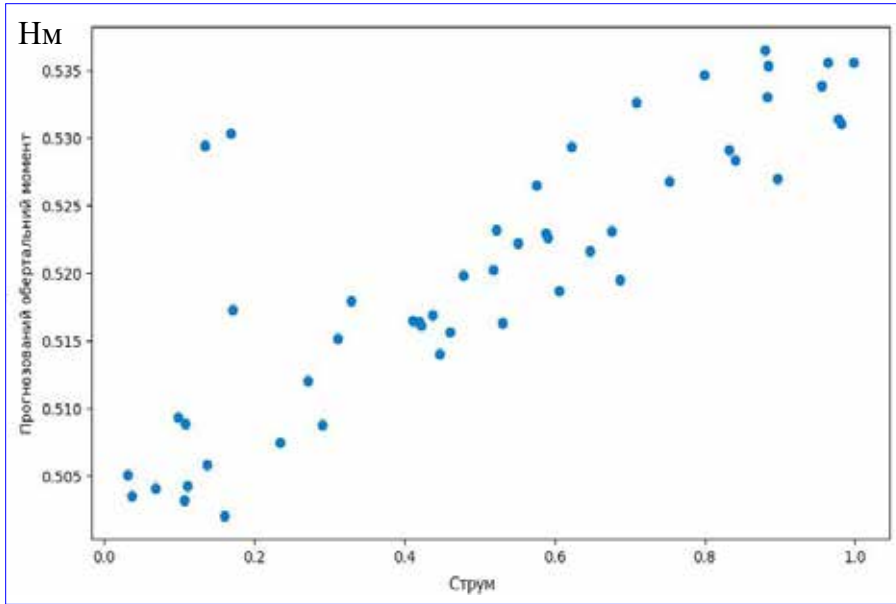


Рис. 8. Прогнозований обертовий момент в залежності від струму

З рис. 8 ми бачимо, що враховуючи стохастичність даних під час навчання, зокрема обертового моменту, що пов'язано із вібрацією в підшипниках валу вплинуло і на результат вимірювання. Тому для збільшення точності можна застосовувати окремі фільтри, як наприклад в роботі [6], рис. 9.

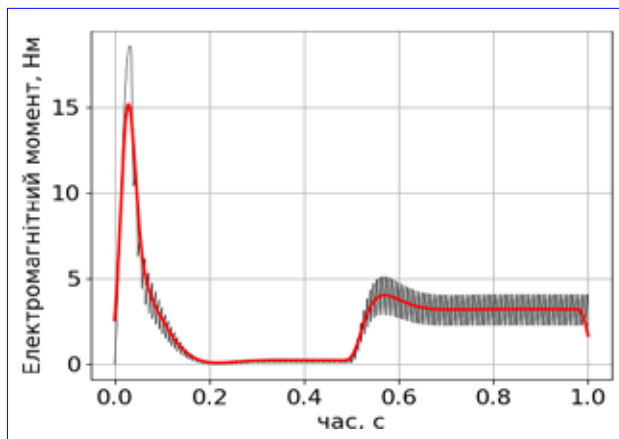


Рис. 9. Результати апроксимації кривої розгону електродвигуна, [6]

Застосувавши даний фільтр та внісши корективи у навчальну вибірку даних для нейронної мережі, отримаємо більш точні вихідні параметри (рис. 10).

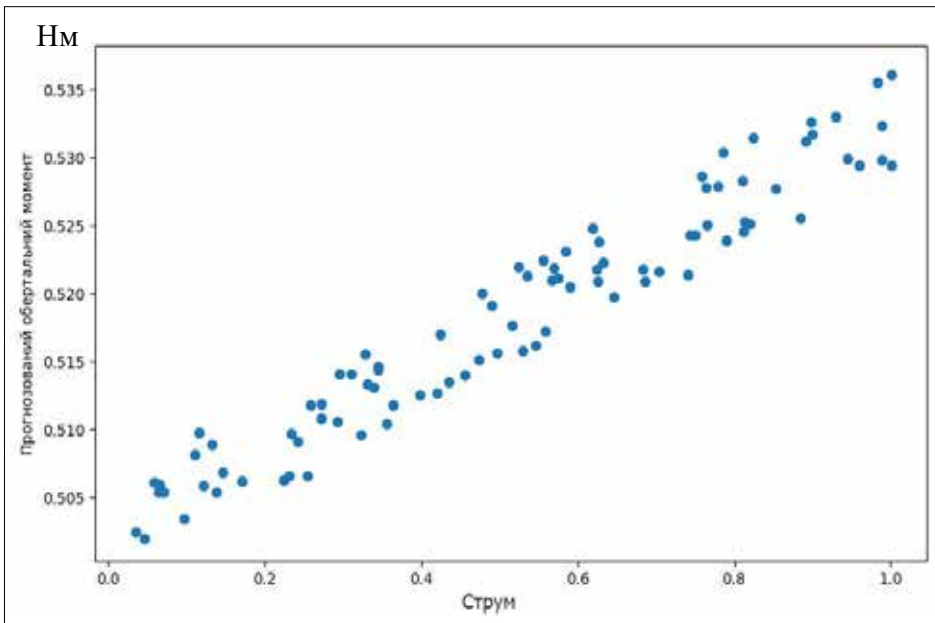


Рис. 10. Прогнозований обертальний момент в залежності від струму з урахуванням фільтру вібрацій валу

Разом з тим, використання нейронних мереж для вимірювання обертальних параметрів електродвигуна є складною задачею, оскільки вимагає певного набору даних для тренування мережі, точності отриманих даних, оптимального вибору моделі, великої кількості даних для навчання.

**Висновки.** Застосування нейронних мереж для вирішення задач пов'язаних із діагностикою обертальних параметрів електродвигунів створює широкі можливості вимірювання з урахуванням різних дестабілізаційних факторів впливу, таких як вібрації, температурні коливання, стрибки напруги, додаткові механічні навантаження, тощо.

Запропонований приклад показує, що результат навчання нейронної мережі залежить від якості отриманих даних та їх кількості. Практичне застосування такого методу, за умов збільшення навчальної вибірки даних та оптимізації моделі може бути реалізовано в умовах відсутності можливостей безпосереднього вимірювання обертального моменту на валу електродвигуна.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Xavier Desforges, Abdallah Habbadi. A Neural Network for Parameter Estimation of a DC Motor for Feed-Drives. ICANN '97 7th International Conference. Oct 1997. Lausanne, Switzerland. P. 867–872.
2. Simoes M. G., Bose B. K. Neural network based estimation of feedback signals for a vector controlled induction motor drive. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 3, P. 620–629, May-June 1995, doi: 10.1109/28.382124.

3. Квасніков В., Квашук Д., Катаєва М. Розробка стенду для вимірювання метрологічних характеристик електродвигунів. *Aerospace technic and technology*. 2021. P. 104–111. doi: 10.32620/akt.2021.4sup2.14.

4. Kingma, D.P., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. CoRR, abs/1412.6980.

5. Wang, Junqi. (2021). Application of Keras neural network in the era of big data. *Journal of Physics: Conference Series*. 2083. 042090. 10.1088/1742-6596/2083/4/042090.

6. Квасніков В. П., Квашук Д. М., Катаєва М. О. Розробка інформаційно-виміральної системи діагностики робочих характеристик електродвигунів. *Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості*. Вип. 1(18). С. 42–52.

#### REFERENCES:

1. Xavier Desforges, Abdallah Habbadi. A Neural Network for Parameter Estimation of a DC Motor for Feed-Drives. ICANN '97 7th International Conference, Oct 1997, Lausanne, Switzerland, pp. 867–872.

2. M. G. Simoes and B. K. Bose, “Neural network based estimation of feedback signals for a vector controlled induction motor drive”, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 3, pp. 620–629, May-June 1995, doi: 10.1109/28.382124.

3. Kvasnikov Volodymyr, Kvashuk Dmytro, Katayeva Mariya. (2021) Rozrobka stendy dlya vymiryuvannya metrolohichnykh kharakterystyk elektrodvyhuniv [Development of a stand for measuring metrological characteristics of electric motors] *Aerospace technic and technology*. 104–111. 10.32620/akt.2021.4sup2.14.

4. Kingma, D.P., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. CoRR, abs/1412.6980.

5. Wang, Junqi. (2021). Application of Keras neural network in the era of big data. *Journal of Physics: Conference Series*. 2083. 042090. 10.1088/1742-6596/2083/4/042090.

6. Kvasnikov V. P., Kvashuk D. M., Katayeva M. O. Rozrobka informatsiyno-vimiryuval'noyi systemy diahnozyky robochykh kharakterystyk elektrodvyhuniv [Development of an information-measuring system for diagnostics of operating characteristics of electric motors], *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi tekhnichnoho rehulyuvannya ta yakosti*, vyp. 1(18), s. 42–52.

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.6>

## РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ДО ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКИХ РОЛЬОВИХ ІГОР

**Завгородній В. В.** – доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри інформаційних технологій  
Державного університету інфраструктури та технологій  
ORCID ID: 0000-0002-8347-7183

**Завгородня Г. А.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Державного університету інфраструктури та технологій  
ORCID ID: 0000-0001-8523-1761

**Дацюк Д. І.** – магістр кафедри інформаційних технологій  
Державного університету інфраструктури та технологій  
ORCID ID: 0009-0005-4175-990

**Карась О. О.** – магістр кафедри інформаційних технологій  
Державного університету інфраструктури та технологій  
ORCID ID: 0009-0009-3988-5663

Робота присвячена розробці авторської методології проектування ігор в жанрі багатокористувацьких рольових ігор (MMORPG). MMORPG є популярними онлайн-іграми, в яких гравці можуть спілкуватися, взаємодіяти і боротися один з одним у віртуальному світі.

Розробка методології проектування MMORPG є важливою задачею, оскільки цей жанр вимагає комплексного підходу до створення ігрового досвіду для багатьох гравців.

В роботі досліджені та проаналізовані існуючі підходи до проектування ігор, та організовано пошук оптимальних методів для вирішення завдань проектування. Було проведено огляд методів проектування для різних аспектів гри.

За допомогою цього дослідження були виявлені кращі практики та ефективні підходи до проектування ігор. Враховуючи різноманітні аспекти гри, були вивчені методи проектування, які можна використовувати для створення концепції гри, бойової, рольової та рейтингової систем, ігрових сутностей, балансу гри і дизайну рівнів.

В результаті дослідження отримано розуміння найкращих практик і методів проектування ігор, а також використання їх для розробки документації ігрового проекту. Це дозволяє збільшити шанси на успіх у створенні якісної та привабливої гри, яка відповідає поставленим вимогам та очікуванням.

У результаті проведеної роботи була розроблена важлива методологія, яка використовується для проектування ігор. Проте варто зазначити, що ця методологія не охоплює всі аспекти, що стосуються проектування ігор, залишаючи простір для подальшого розширення та удосконалення в цій сфері. Процес розробки нових ігор відкриває можливість для доробки та удосконалення самої методології, яка може бути оброблена та розширена під час її застосування. Це дасть змогу враховувати нові тенденції та вимоги галузі ігрової індустрії, щоб створювати ще більш захопливі та інноваційні ігрові вироби.

**Ключові слова:** рольова гра, розробка ігор, методи проектування ігор, архітектура гри, методологія проектування гри.

**Zavgorodnii V. V., Zavgorodnya A. A., Datsyuk D. I., Karas' O. O. Development of methodology for designing multi-user role-playing games**

The work is devoted to the development of the author's methodology for designing games in the genre of multiplayer role-playing games (MMORPG). MMORPGs are popular online games in which players can communicate, interact and fight with each other in a virtual world.



*Developing an MMORPG design methodology is an important task, as this genre requires a comprehensive approach to creating a gaming experience for many players.*

*The work examines and analyzes existing approaches to game design, and organizes the search for optimal methods for solving design tasks. A review of design methods for various aspects of the game was conducted.*

*Through this research, best practices and effective approaches to game design have been identified. Considering the various aspects of the game, design methods were studied that can be used to create game concept, combat, role and rating systems, game essence, game balance and level design.*

*As a result of the study, an understanding of the best practices and methods of game design was obtained, as well as their use for the development of game project documentation. This allows you to increase the chances of success in creating a high-quality and attractive game that meets the set requirements and expectations.*

*As a result of the work carried out, an important methodology was developed, which is used for designing games. However, it is worth noting that this methodology does not cover all aspects related to game design, leaving room for further expansion and improvement in this area. The process of developing new games opens up the opportunity to refine and improve the methodology itself, which can be refined and expanded during its application. This will make it possible to take into account new trends and requirements of the game industry to create even more exciting and innovative game products.*

**Key words:** *role-playing game, game development, game design methods, game architecture, game design methodology.*

**Постановка проблеми.** Комп'ютерні ігри [1] – це програми, які виконують різноманітні завдання: відображення віртуальних світів на екрані, обчислення гравальної логіки на спеціалізованих серверах, взаємодію з великою кількістю гравців через мережу та багато іншого. Однак, не менш важливою є сутність цих програм – які світи вони створюють і як гравці взаємодіють з цими світами. Якість програми і захоплюючий геймплей є важливими факторами успіху гри.

Основи майбутнього проекту закладаються на етапі проектування продукту. Проектування гри [2] складається з двох етапів: проектування гравального дизайну (концептуальний проект) та проектування програмної частини (технічний проект). Концептуальний проект визначає, якою буде гра, які елементи привернуть увагу аудиторії, який гравальний вміст буде заповнювати гру та у якому обсязі. Без гравального дизайну важко визначити кінцеву мету проекту та його сильні сторони [3]. Технічний проект надає уявлення про деталі та складність реалізації гри, а також допомагає уникнути багатьох проблем на пізніших етапах розробки. Обидва ці етапи є необхідними для створення успішної та популярної гри.

Гейм-дизайнер розробляє ескізний проект, встановлює правила гри і описує її вміст. Технічний проект виходить з ескізу, а під час розробки програми тестуються механіки. Коригується дизайн-документ, щоб зробити його більш зрозумілим для всіх учасників проекту, таких як дизайнери, моделі, художники і програмісти [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [5] було представлено два нові підходи до розробки бойової системи, що об'єднують принципи та правила. Перший підхід ґрунтується на моделюванні основних поведінкових зразків гравця для перевірки ефективності персонажа. Другий підхід, заснований на вирівнюванні за часовою шкалою, дозволяє забезпечити баланс між різними можливостями. Крім того, в статті пропонується власний підхід до відображення ієрархії навичок та проектування схеми їх групування.

Після ретельного дослідження літературних джерел [6–9], присвячених даній тематиці, не знайдено жодної статті або наукової роботи, в якій була б описана методологія проектування. Цей факт спонукає до розробки власної авторської методології, що складатиметься з ретельно розроблених етапів та кроків проектування.

Розроблена методологія буде заснована на синтезі найкращих практик і теоретичних концепцій, що були виявлені під час дослідження. Вона буде включати систематичні кроки та етапи, що забезпечать ефективний та структурований процес проектування.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є об'єднання сучасних методів проектування *MMORPG*-ігор в єдину методологію, яка сприяє швидкому та спрощеному процесу проектування таких ігор.

**Виклад основного матеріалу.** Індустрія розробки ігор є жвавою та постійно змінюється. Тому використовується ітеративний підхід у розробці проектів, який включає три основні етапи. Останні два етапи складають неперервний цикл, під час якого гра може зазнавати змін та поліпшень. Це призводить до створення проектної документації гри. Процес можна розділити на наступні етапи:

1. Формування ідеї: На цьому етапі виявляються та розробляються концепції ідеї гри.
2. Дизайн-проектування: Тут створюється дизайн гри, включаючи графіку, звук, інтерфейс та ігрові механіки.
3. Архітектурне проектування: Цей етап включає розробку архітектури гри, таку як структура бази даних, логіка гри та система управління.
4. Прототипування: На даному етапі створюється прототип гри, що дозволяє перевірити та оцінити її основні функції та механіки.

Завдяки ітеративному підходу та послідовності цих етапів розробники можуть поетапно удосконалювати гру та вносити необхідні зміни під час її розробки. Розглянемо докладніше кожен із цих етапів (рис. 1).

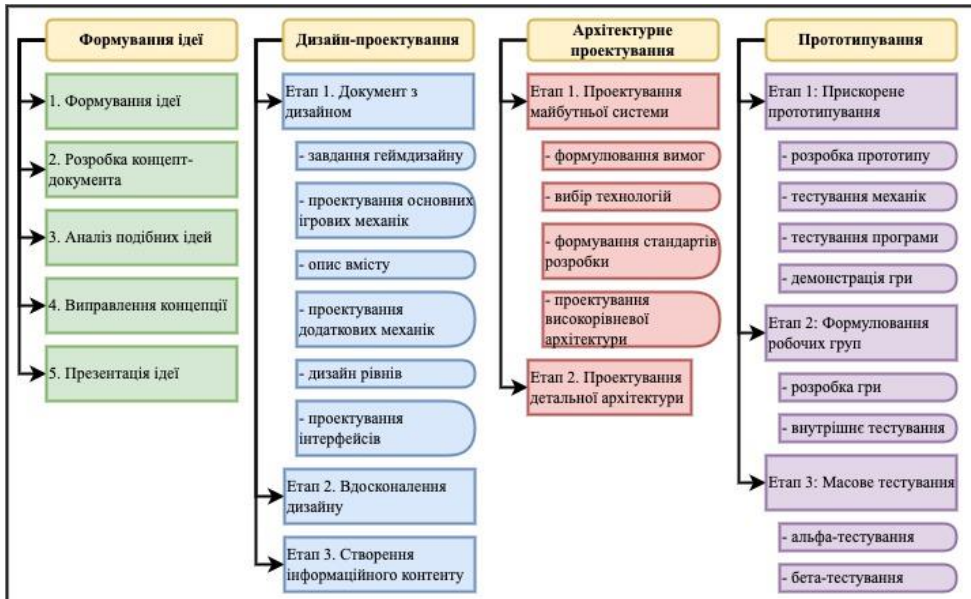


Рис. 1. Методологія проектування багатокористувацьких рольових ігор

**Формування ідеї.** На першому етапі розробки проекту відбувається створення технічної пропозиції, яка містить опис основних концепцій та комерційних переваг проекту.

1. Формування ідеї – основна мета цього етапу полягає у презентації зацікавленим сторонам основної ідеї гри, її унікальності та ключових особливостей. Тут головне – не деталі, а цілісність концепції в цілому. Тому, працюючи над технічною пропозицією, можна виявити потенційні недоліки концепції, якщо вони присутні. Крім того, концептуальний документ потрібний для порівняння початкової ідеї з результатами розробки, а також для залучення інших учасників проекту, таких як видавці, програмісти, художники та інші.

2. Розробка концепт-документа – це процес, що базується на особливостях ідеї гри. Основною метою цього документа є відображення унікальності та цінності гри. Це може бути захоплюючий сюжет у популярному сеттингу або унікальна система бою та динаміка гри. Проте, є обов'язкова інформація, яка повинна бути представлена, наприклад, ключові особливості та цільова аудиторія.

3. Аналіз подібних ідей є важливим кроком після виникнення самої ідеї, оскільки необхідно піддати її критичній оцінці [1]. Найефективніший спосіб – це аналіз існуючих ігор, які концептуально найбільш близькі до розроблюваної гри. Під час аналізу перевіряється, чи були враховані всі аспекти, як ідеї були втілені в подібних іграх, в чому полягає відмінність реалізації. Однак, головним питанням оцінки ідеї є її унікальність.

4. Виправлення концепції є логічним кроком після оцінки ідеї. Можливо, буде необхідно внести зміни у концепцію або навіть повністю відмовитися від деяких ідей через їх банальність або непридатність.

5. Презентація ідеї – отримання відгуків про гру та оцінка реакції людей. В результаті цього етапу може виявитися, що гра не зацікавила публіку, і варто повністю переглянути концепцію в цілому.

#### *Дизайн-проекування.*

Етап 1: Результатом цього етапу є документ з дизайном, в якому описані наступні аспекти гри:

- завдання геймдизайну. Використовуючи концепт-документ, визначаються цілі проектування. Достатньо відповісти на питання про наявність ігрових механік та обсяг створення контенту;

- проектування основних ігрових механік. Ці саме механіки будуть реалізовані в прототипі гри. Головна мета ігрових механік бойової системи полягає у тому, щоб надихнути гравця на розумні рішення та використання потрібних навичок у відповідний момент. Завдання полягає в тому, щоб гравець міг передбачити наступний крок, який йому потрібно буде зробити, а також розробляти тактичний план дій під час битви;

- опис вмісту. Перед початком розробки важливо чітко визначити обсяг створюваного вмісту, щоб ефективно визначити трудові ресурси та необхідне фінансування. Цей вміст включає 3D-моделі, 2D-малюнки та звуки. Для визначення обсягу вмісту спочатку створюються таблиці, що описують всі ігрові об'єкти;

- проектування додаткових механік. До додаткових механік можуть входити клани, торгівля, міні-ігри тощо;

- дизайн рівнів. За допомогою методів проектування створюються основні рівні для гри;

- проектування інтерфейсів. На цьому етапі створюються макети інтерфейсів та схема переходів між ними.

Етап 2. Вдосконалення дизайну. Враховуючи думку гравців, на цьому етапі проводяться зміни у геймплеї, додаються нові елементи або видаляються старі, встановлюються оптимальні параметри ігрових об'єктів, змінюються інтерфейси

та рівні. Все це робиться з метою поліпшити гру та надати задоволення гравцям. Крім того, спілкування з гравцями на цьому етапі підвищує їхню лояльність, що зберігає існуючих гравців та привертає нових. Також на цьому етапі розпочинається планування, під час якого формуються технічні завдання – короткі документи, що деталізують етапи виробничого циклу. Кожен такий документ містить опис проблеми, яку треба вирішити, а також опис того, що має бути досягнуто. Планування не є закінченим на цьому етапі, а продовжується протягом усього процесу розробки, виконуючи його паралельно з іншими етапами.

Етап 3. Створення інформаційного контенту. Гравці повинні бути добре обізнані про гру. Це може вплинути на їх рішення щодо покупки гри або викликати зацікавленість та розвивати їх інтерес. Для здобуття шанувальників гри необхідна докладна інформація. Цю інформацію можна подавати у формі відео-роликів, статей, нотаток розробників, бази знань тощо.

#### *Архітектурне проектування.*

Етап 1. Після того, як проектний дизайн гри розроблено, можна приступити до проектування майбутньої системи. На цьому етапі рекомендується утримуватися від надмірної деталізації, оскільки, по-перше, немає точності щодо того, наскільки суттєво може змінитися дизайн гри; по-друге, конкретні вимоги проекту почнуть формуватися лише під час розробки. Важливо визначити вимоги та технології для реалізації, а також встановити стандарти для роботи в команді та загальної структури коду. На виході цього етапу має бути створений загальний технічний проект з наступним:

- формулювання вимог. Необхідно розуміти, як очікувані результати користувача впливають на архітектуру системи та поведінку її компонентів, щоб реалізувати необхідну для користувача функціональність;
- вибір технологій. На основі вимог обираються технології, які дозволять реалізувати вказану функціональність;
- формування стандартів розробки. Розробляються загальні стандарти для написання коду в команді, вибираються архітектурні шаблони і встановлюються принципи та правила розробки;
- проектування високорівневої архітектури. Деталізація системи на незалежні компоненти для розподілу обов'язків між розробниками. Чим більша команда, тим докладніше виконується деталізація. Для опису системи можна використовувати діаграми пакетів, а для опису бази даних – ER-діаграми.

Етап 2. Проектування детальної архітектури. Швидке прототипування допомагає зрозуміти структуру коду, після чого можна перейти до більш глибокої деталізації системи. На цьому етапі ведеться робота над створенням діаграм класів, діаграм послідовностей, діаграм станів та впровадженням додаткових архітектурних рішень. Головна мета – відкинути код, який був написаний на швидку руку під час прототипування, і почати спочатку. Це необхідно для уникнення помилок, які можуть бути приховані в «брудному коді».

#### *Прототипування.*

Етап 1: Прискорене прототипування має на меті перевірку ідей геймдизайну, а також зниження витрат на подальші зміни. Крім того, цей етап сприяє отриманню робочої версії гри якомога швидше. Ранній прототип можна використовувати для презентації гри інвесторам та пресі, створення відеоконтенту і розширення аудиторії. Має наступні підетапи:

- розробка прототипу. Прототип розробляється для втілення базових механік та контенту гри. На цьому етапі розробники відкриті до нових ідей та змін, спрямованих на поліпшення гри. Команда проводить тестування своїх розробок,

експериментує з контентом та підбирає кольорову гаму. Усі зміни в дизайні фіксуються в дизайн-документі;

- тестування механік. Здійснюється перевірка базових механік гри на їх привабливість та функціональність. Чи залучає гра гравця? Чи існують елементи, які заважають гравцеві? Команда активно працює над вдосконаленням механік гри;

- тестування програми. Проводиться пошук та усунення помилок, які перешкоджають нормальному функціонуванню гри. Використовується ручне тестування для виявлення будь-яких проблем та недоліків;

- демонстрація гри. Розроблений прототип гри презентується публіці на різних ігрових виставках. На цих заходах збираються відгуки гравців, встановлюються нові контакти з зацікавленими особами, інвесторами та представниками преси.

Етап 2. Після завершення проектною документації формуються робочі групи, і розпочинається розробка відповідно до плану:

- розробка гри. Команда розпочинає створення ядра гри. Одночасно проводиться розробка контенту. Після завершення розробки ядра починається інтеграція контенту в ігрову програму.

- внутрішнє тестування. Здійснюється внутрішнє тестування з метою виявлення та виправлення помилок. Тестування проводиться після завершення кожної ітерації розробки паралельно з роботою над наступною ітерацією.

Етап 3. На даному етапі після публікації проводиться масове тестування. Для цього етапу обов'язковою є наявність сайту та форуму гри, де тестувальники можуть залишати свої коментарі та звіти про помилки. На цьому етапі виявляються складні баги і недоліки дизайну. Види тестувань:

- альфа-тестування. Закрите альфа-тестування передбачає обмежену кількість тестувальників. Нові гравці отримують доступ за спеціальним посиланням. Проводиться первинне тестування навантаження. На цьому етапі можуть відбуватися очищення бази даних, що заздалегідь попереджається в угоді.

- бета-тестування. Відкрите бета-тестування доступне всім бажаючим гравцям. Тут відбувається повне тестування навантаження, і потім налаштовується баланс гри.

Розроблена методологія проектування та отримана проектна документація є важливими етапами для успішної розробки та впровадження захоплюючих та інноваційних *MMORPG*-ігор.

Однак, не всі аспекти проектування були розглянуті, що дає змогу провести подальше дослідження даної теми. Зокрема, потрібно дослідити теорію та практику у сфері механіки управління, а також у проектуванні низькорівневої архітектури ігрових додатків. Методологію можна піддати тестуванню на реальному проєкті та вдосконалити її, враховуючи отриманий досвід.

**Висновки.** У даному дослідженні було розроблено методологію, яка є незамінним інструментом для втілення нових ідей у сфері *MMORPG*-ігор. Вона надає можливість розробникам ефективно структурувати ідеї, досліджувати їх потенціал і впроваджувати унікальні геймплейні рішення. Методологія дозволяє проектувати гру з орієнтацією на користувача, забезпечувати високу якість геймдизайну та підвищувати залучення гравців.

Отримана проектна документація, створена за допомогою цієї методології, має великий потенціал для подальшої розробки *MMORPG*-ігор. Вона містить детальну інформацію про ігровий світ, персонажів, механіки гри, системи прогресування та багато іншого. Ця документація стане основою для програмістів, дизайнерів та інших фахівців, що працюють над розробкою гри, допоможе їм

зрозуміти та реалізувати задуми, забезпечить однозначність та консистентність у роботі над проектом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Jere Miles. Unity 3D and PlayMaker Essentials. *A K Peters / CRC Press*, 2016. P. 482. ISBN 9781317414315
2. Anthony Davis, Travis Baptiste, Russell Craig, Ryan Stunkel. Unity 3D Game Development. *Packt Publishing*, 2022. P. 370. ISBN 9781801077231
3. Tryggvason K. Design and Implementation of a Collectable Trading Card Board Game and Game AI, 2016. URL: <https://www.ru.is/media/td-msc-ritgerdir/Kristjan-Tryggvason-MSc.pdf>
4. KORPPOO, KAROLIINA. Designing Game Analytics for a City-Builder Game. *UNIVERSITY OF TAMPERE*. 2015. URL: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/97480/GRADU-1435136851.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Yiting Xu, Shah Nawaz. A Comparison of Architectures in Massive Multiplayer Online Games. *20145 Architecture of Distributed Systems*, 2014. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Shah-Nawaz-3/publication/271490933\\_A\\_Comparison\\_of\\_Architectures\\_in\\_Massive\\_Multiplayer\\_Online\\_Games/links/54c8dfc20cf238bb7d0e8287/A-Comparison-of-Architectures-in-Massive-Multiplayer-Online-Games.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shah-Nawaz-3/publication/271490933_A_Comparison_of_Architectures_in_Massive_Multiplayer_Online_Games/links/54c8dfc20cf238bb7d0e8287/A-Comparison-of-Architectures-in-Massive-Multiplayer-Online-Games.pdf)
6. Bobby Ross. Visual Guide: Multiplayer Level Design. *Bobby Ross Level Art+Design Portfolio*, 2015. URL: <http://bobbyross.com/library/mpleveldesign>
7. Tracy Fullerton. Game Design Workshop. *A K Peters/CRC Press*, 2018. P.522. ISBN 9781351597692
8. George Kalmpourtzis. Educational Game Design Fundamentals. *A K Peters / CRC Press*, 2018. P. 306. ISBN 9781351804714
9. Nicholas Lovell. The Pyramid of Game Design. *A K Peters / CRC Press*, 2018. P. 326. ISBN 9780429815669

### REFERENCES:

1. Jere Miles. (2016) Unity 3D and PlayMaker Essentials. *A K Peters / CRC Press*. P. 482. ISBN 9781317414315
2. Anthony Davis, Travis Baptiste, Russell Craig, Ryan Stunkel. (2022) Unity 3D Game Development. *Packt Publishing*. P. 370. ISBN 9781801077231
3. Tryggvason K. (2016). Design and Implementation of a Collectable Trading Card Board Game and Game AI. URL: <https://www.ru.is/media/td-msc-ritgerdir/Kristjan-Tryggvason-MSc.pdf>
4. KORPPOO, KAROLIINA. (2015) Designing Game Analytics for a City-Builder Game. *UNIVERSITY OF TAMPERE*. URL: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/97480/GRADU-1435136851.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Yiting Xu, Shah Nawaz. (2014) A Comparison of Architectures in Massive Multiplayer Online Games". *20145 Architecture of Distributed Systems*. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Shah-Nawaz-3/publication/271490933\\_A\\_Comparison\\_of\\_Architectures\\_in\\_Massive\\_Multiplayer\\_Online\\_Games/links/54c8dfc20cf238bb7d0e8287/A-Comparison-of-Architectures-in-Massive-Multiplayer-Online-Games.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shah-Nawaz-3/publication/271490933_A_Comparison_of_Architectures_in_Massive_Multiplayer_Online_Games/links/54c8dfc20cf238bb7d0e8287/A-Comparison-of-Architectures-in-Massive-Multiplayer-Online-Games.pdf)
6. Bobby Ross. (2015) Visual Guide: Multiplayer Level Design. *Bobby Ross Level Art+Design Portfolio*. URL: <http://bobbyross.com/library/mpleveldesign>
7. Tracy Fullerton. (2018) Game Design Workshop. *A K Peters / CRC Press*. P. 522. ISBN 9781351597692
8. George Kalmpourtzis. (2018) Educational Game Design Fundamentals. *A K Peters / CRC Press*. P. 306. ISBN 9781351804714
9. Nicholas Lovell. (2018) The Pyramid of Game Design. *A K Peters / CRC Press*. P. 326. ISBN 9780429815669.

UDC 620.178.152:669-1

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.7>

## REFINEMENT OF MICROSTRUCTURAL PARAMETERS OF THE CRYSTAL STRUCTURE OF COMPOUND $Ba_2MoO_5$

**Zavodiannyi V. V.** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Hydraulic Engineering,  
Water and Electrical Engineering  
Kherson State Agrarian and Economic University  
ORCID ID: 0000-0002-8224-8215

Barium molybdates have a wide range of applications: in nuclear power, photoluminescent devices, solid-state lasers, photocatalysts, and gas sensing. They are used in microwave and thermoelectric devices.  $Ba_2MoO_5$  belongs to this group of compounds. Several methods for its production are known from the literature.  $Ba_2MoO_5$  is obtained by reactions:  $BaMoO_4 + BaCO_3 \rightarrow Ba_2MoO_5 + CO_2$ ,  $BaMoO_4 + Ba_3MoO_6 \rightarrow 2Ba_2MoO_5$ . This chemical can also be obtained from the reaction of  $BaMoO_4$  with Mo and  $BaO_2$ .  $Ba_2MoO_5$  and Mo,  $BaMoO_4$  were formed, which did not react. According to the state diagram of BaO-MoO<sub>3</sub>, it borders on  $Ba_3Mo_7O_{24}$  and  $BaMoO_4$ . It has a melting point of 1280° C in the eutectic and 1370° C in the melt. The presence of  $Ba_2MoO_5$  was determined by X-ray phase analysis using the database of powder diffractograms with the Bragg-Brentano geometry, PDF-2. The spectrum of the compound is available in the card 025-0011. The synthesis of the compound whose diffraction spectrum is reported in card 025-0011, PDF-2 database (ICDD) for 2009 was the result of the reaction of  $BaCO_3$  and  $MoO_3$ , taken in a molar ratio of 2:1, placed in a gold crucible and heated to 900° C and kept in air for 4 days. From the analysis of the literature, it follows that  $Ba_2MoO_5$  crystallizes in orthorhombic syngony, has the Pnma symmetry group, lattice periods  $a = 7.4097\text{\AA}$ ,  $b = 5.7603\text{\AA}$ ,  $c = 11.3906\text{\AA}$  and belongs to the  $K_2VO_2F_3$  structure type. Using the above information on the crystal structure of the studied compound, the microstructural parameters were refined using the spectrum published in card 025-0011 of the PDF-2 (ICDD) database for 2009. The values of the lattice periods were refined:  $a = 7.408471\text{\AA}$ ,  $b = 5.734523\text{\AA}$ ,  $c = 11.469570\text{\AA}$ , spatial symmetry group Pnma. Microstructural parameters: Ba(1) 4c  $x/a = 0.178307$ ;  $y/b = 0.250000$ ;  $z/c = 0.416387$ ; position filling factor s.o.f.=1; Ba(2) 4c  $x/a = 0.482515$ ;  $y/b = 0.250000$ ;  $z/c = 0.715824$ ; s.o.f.=1; Mo(1) 4c  $x/a = 0.1585(9)$ ;  $y/b = 0.250000$ ;  $z/c = 0.0671(5)$ ; s.o.f.=1; O(1) 4a  $x/a = 0$ ;  $y/b = 0$ ;  $z/c = 0$ ; s.o.f.=1; O(2) 4c  $x/a = 0.731075$ ;  $y/b = 0.250000$ ;  $z/c = -0.001550$ ; s.=1; O(3) 4c  $x/a = 0.336331$ ;  $y/b = 0.250000$ ;  $z/c = 0.904934$ ; s.o.f.=1; O(4) 8d  $x/a = 0.267908$ ;  $y/b = 0.134197$ ;  $z/c = 0.053091$ ; s.o.f.=1.

**Key words:** crystal structure, Rietveld method, compound  $Ba_2MoO_5$ .

### **Заводяний В. В. Уточнення мікроструктурних параметрів кристалічної структури сполуки $Ba_2MoO_5$**

Молібдати барію мають широкий спектр застосування: в ядерній енергетиці, фотолюмінесцентних пристроях, твердотільних лазерах, фотокаталізаторах, зондуванні газу. Застосовуються в мікрохвильових та термоелектричних пристроях. До цього ряду сполук належить і  $Ba_2MoO_5$ . Із літератури відомо декілька методів її отримання.  $Ba_2MoO_5$  отримують за реакціями:  $BaMoO_4 + BaCO_3 \rightarrow Ba_2MoO_5 + CO_2$ ,  $BaMoO_4 + Ba_3MoO_6 \rightarrow 2Ba_2MoO_5$ . Також дану хімічну речовину можна отримати в результаті реакції  $BaMoO_4$  з Mo і  $BaO_2$ . Утворюються  $Ba_2MoO_5$  і Mo,  $BaMoO_4$  які не прореагували. Відповідно до діаграми стану BaO-MoO<sub>3</sub> вона межує з  $Ba_3Mo_7O_{24}$  та  $BaMoO_4$ . Має температуру плавлення 1280° C за евтектикою, і 1370° C з розплаву. Присутність  $Ba_2MoO_5$  визначалась в результаті рентгенівського фазового аналізу за допомогою бази даних порошкових дифрактограм з геометрією зйомки Бреґ-Брентано, PDF-2. Спектр сполуки міститься в картці 025-0011. Синтез сполуки, дифракційний спектр якої міститься в картці 025-0011, бази даних PDF-2 (ICDD) за 2009 рік відбувався в результаті реакції  $BaCO_3$  і  $MoO_3$ , взятих в молярному співвідношенні 2:1, розміщених в золотому тиглі і нагрітих до 9000C та витриманих протягом 4 діб на повітрі. З аналізу літературних джерел слідує, що  $Ba_2MoO_5$  кристалізується в орторомбічній сингонії, має просторову групу симетрії Pnma, періоди решітки  $a = 7.4097\text{\AA}$ ,  $b = 5.7603\text{\AA}$ ,  $c = 11.3906\text{\AA}$  і належить до типу структури  $K_2VO_2F_3$ . Використовуючи зазначені відомості про кристалічну структуру досліджуваної сполуки було проведено уточнення мікроструктурних параметрів за спектром розміщеним в картці 025-0011 бази даних PDF-2 (ICDD) за 2009 рік. Уточнені значення періодів решітки:  $a = 7.408471\text{\AA}$ ,  $b = 5.734523\text{\AA}$ ,  $c = 11.469570\text{\AA}$ , просторова група симетрії Pnma.

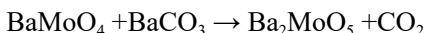
Мікроструктурні параметри: Ba(1) 4с  $x/a=0,178307$ ;  $y/b=0,250000$ ;  $z/c=0,416387$ ; коефіцієнт заповнення позицій  $s.o.f.=1$ ; Ba(2) 4с  $x/a=0,482515$ ;  $y/b=0,250000$ ;  $z/c=0,715824$ ;  $s.o.f.=1$ ; Mo(1) 4с  $x/a=0,1585(9)$ ;  $y/b=0,250000$ ;  $z/c=0,0671(5)$ ;  $s.o.f.=1$ ; O(1) 4а  $x/a=0$ ;  $y/b=0$ ;  $z/c=0$ ;  $s.o.f.=1$ ; O(2) 4с  $x/a=0,731075$ ;  $y/b=0,250000$ ;  $z/c=-0,001550$ ;  $s.o.f.=1$ ; O(3) 4с  $x/a=0,336331$ ;  $y/b=0,250000$ ;  $z/c=0,904934$ ;  $s.o.f.=1$ ; O(4) 8d  $x/a=0,267908$ ;  $y/b=0,134197$ ;  $z/c=0,053091$ ;  $s.o.f.=1$ .

**Ключові слова:** кристалічна структура, метод Рітвельда, сполука  $Ba_2MoO_5$ .

**Introduction.** Compounds of the Ba-Mo-O system have a wide range of properties. For example, they are used in nuclear power, photoluminescence, solid-state lasers, photocatalysts, gas sensing, microwave and thermoelectric properties [1]. The compound  $Ba_2MoO_5$  is one of the representatives of this class. Therefore, the study of the properties and structure of this compound, in particular its crystal structure, is relevant.

The symmetry and lattice periods of this compound were determined and reported in [2]. Namely, the structure of  $Ba_2MoO_5$  was assigned to the rhombic syngony with lattice periods  $a = 7.412 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.769 \text{ \AA}$ ,  $c = 11.380 \text{ \AA}$ .

The method for obtaining this compound is reported in detail in [3]. The compound can be obtained by reactions:



The phase diagram of BaO-MoO<sub>3</sub> is given in [4]<sub>3</sub> Fig. 1.

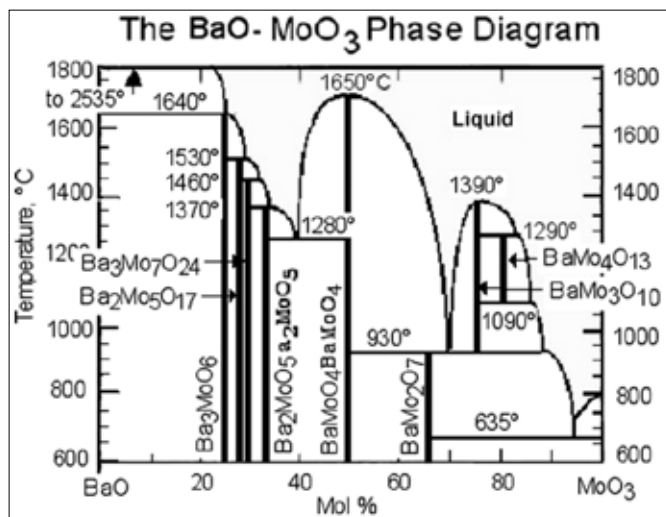


Fig. 1. Phase diagram of BaO-MoO<sub>3</sub>

According to it, the compound has a melting point of 1280 °C in the eutectic and 1370 °C in the melt.

Also, as a result of the reaction of  $BaMoO_4$  with Mo and  $BaO_2$ ,  $Ba_2MoO_5$  and Mo,  $BaMoO_4$  were formed, which did not react [5].

In [6], the compound  $Ba_2MoO_5$  card 25-0011 JCPDS was observed by X-ray phase analysis using the PDF-2 database.

The aim of this work is to clarify the microstructural parameters of the compound  $Ba_2MoO_5$ .



**Research results.** Information on the crystal structure of this compound can be found in [7]. The samples for the study were prepared from  $\text{BaCO}_3$  and  $\text{MoO}_3$  in a molar ratio of 2:1, heated to  $900^\circ\text{C}$  in a gold crucible and kept in air for 4 days.  $\text{Ba}_2\text{MoO}_3$  crystallizes in rhombic syngony, with the  $Pnam$  symmetry group,  $Z = 4$ , and belongs to the structural type  $\text{K}_2\text{VO}_2\text{F}_3$ , and has lattice periods  $a = 7.4097(7)\text{Å}$ ,  $b = 11.3906(8)\text{Å}$ ,  $c = 5.7603(6)\text{Å}$  [7].

These data were taken as the initial ones for the structural model of the compound under study. The microstructural parameters  $\text{K}_2\text{VO}_2\text{F}_3$  are given in Table 1. Spatial symmetry group  $Pnma$ , lattice periods  $a = 7.415(1)\text{Å}$ ,  $b = 5.7637(6)\text{Å}$ ,  $c = 11.391(2)\text{Å}$  [8].

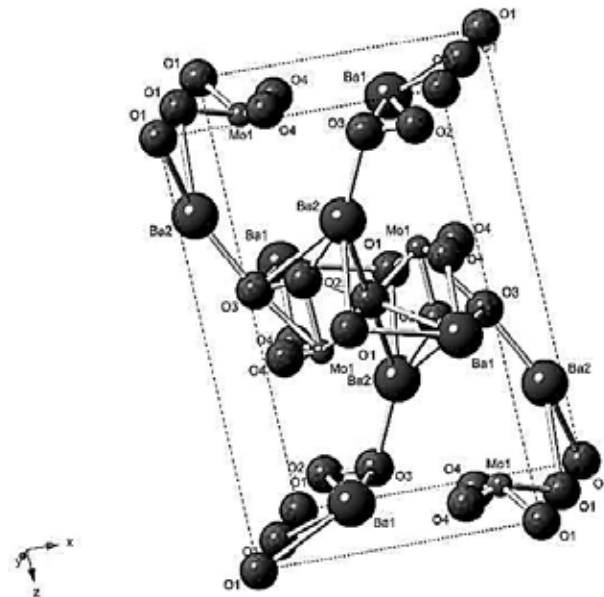
Table 1

Microstructural parameters  $\text{K}_2\text{VO}_2\text{F}_3$ 

Atom	Wyck.	s.o.f.	$x$	$y$	$z$
K(1)	4c	1,000000	0,190800	0,250000	0,592880
K(2)	4c	1,000000	0,477500	0,250000	0,282940
V	4c	1,000000	0,199500	0,250000	0,306000
O	8d	1,000000	0,177800	0,523300	0,389400
F(1)	4a	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000
F(2)	4c	1,000000	0,037100	0,250000	0,805700
F(3)	4c	1,000000	0,272600	0,250000	0,091500

The diffraction spectrum of the compound was obtained from the PDF-2 database for 2009 under the number 25-0011, taken at copper filtered radiation with a wavelength of  $\lambda = 1.54060\text{Å}$ , with the Breg-Brentano survey geometry in UDF format.

The microstructural parameters were determined by the Rietveld method using the HighScore Plus 3.0 program.

Fig. 2. Crystal structure of Ba compound  $\text{Ba}_2\text{MoO}_3$

Microstructural parameters are shown in Table 2.

Table 2

**Microstructural parameters of the structure of compound Ba<sub>2</sub>MoO<sub>5</sub>**

Atom	Wyck.	s.o.f.	x	y	z
Ba1	4c	1,000000	0,178307	0,250000	0,416387
Ba2	4c	1,000000	0,482515	0,250000	0,715824
Mo1	4c	1,000000	0,1585(9)	0,250000	0,0671(5)
O1	4a	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000
O2	4c	1,000000	0,731075	0,250000	-0,001550
O3	4c	1,000000	0,336331	0,250000	0,904934
O4	8d	1,000000	0,267908	0,134197	0,053091

The compound belongs to the orthorhombic syngonium, the spatial symmetry group is *Pnma*, the refined lattice periods are  $a = 7.408471\text{\AA}$ ,  $b = 5.734523\text{\AA}$ ,  $c = 11.469570\text{\AA}$ . The discrepancy factor is  $R = 8.11\%$ .

**Conclusion.** The crystal structure of the compound Ba<sub>2</sub>MoO<sub>5</sub> was studied by the diffraction spectrum obtained in [7] and given in the PDF-2 database for 2009 (ICDD) under the number 025-0011, taken on a copper filtered radiation with a wavelength of  $\lambda = 1.54060\text{\AA}$  and a Breg-Brentano survey geometry.

The structure of the compound belongs to the orthorhombic syngonium, the *Pnma* symmetry group, with lattice periods  $a = 7.408471\text{\AA}$ ,  $b = 5.734523\text{\AA}$ ,  $c = 11.469570\text{\AA}$ .

Microstructural parameters are shown in Table 2. The discrepancy factor is  $R = 8.11\%$ . The compound belongs to the structural type K<sub>2</sub>VO<sub>2</sub>F<sub>3</sub>.

### BIBLIOGRAPHY:

1. Smith A.L., Rutten, L., Epifano M., Konings R.J.M., Colineau E., Griveau J.-C., Gu'eneau C., Dupin N. Experimental studies and thermodynamic assessment of the Ba-Mo-O system by the CALPHAD method. *Journal of the European Ceramic Society*. 2021. Vol.41. P. 3664–3686. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.01.010>
2. Шевченко Н.Н., Лыкова Л.Н., Ковба Л.М. О вольфраматах и молибдатах щелочноземельных металлов. *Журнал неорганической химии*. 1974. Том 19. № 4. С. 971–975.
3. Векслер С.Ф., Жуковский В. М. Синтез молибдатов бария Ba<sub>2</sub>MoO<sub>5</sub> и Ba<sub>3</sub>MoO<sub>6</sub>. *Журнал неорганической химии*. 1974. Том 19. № 12. С. 3224–3228.
4. Ropp R.C. Chapter 10 – Group 6 (Cr, Mo and W) Alkaline Earth Compounds. *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds*. Elsevier. 2013. P. 836. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59550-8.00010-7>
5. Bacon P.E. Searching for new niobium oxide based superconductors: an abstract of the thesis of the degree of Master of Science in Chemistry: Oregon State University. Oregon. 1995. 100 p.
6. Xing C., Li J., Wang J., Chen H., Qiao H., Yin X., Wang Q., Qi Z., Shi F. Internal relations between crystal structures and intrinsic properties of nonstoichiometric Ba<sub>1+x</sub>MoO<sub>4</sub> ceramics. *Inorganic Chemistry*. 2018. Vol. 57. № 12. P. 7121–7128. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b00841>
7. McMurdie H.F., Morris M.C., Evans E.H., Paretzkin B., de Groot J.H., Hubbard C.R., Carmel S.J. Section 12-Data for 57 Substances. *Standard X-ray Diffraction Powder Pattern*: monograph/ R.W. Roberts. Washington, 1975. P. 10–11.
8. Ryan R.R., Mastin S.H., Reisfeld M. J. The crystal structure of K<sub>2</sub>VO<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, a non-linear dioxovanadium (V) group. *Acta Crystallographica Section B Structural Crystal-*

*lography and Crystal Chemistry*. 1971. Vol. 27. P. 1270–1274. <https://doi.org/10.1107/S0567740871003844>

#### REFERENCES:

1. Smith A.L., Rutten, L., Epifano M., Konings R.J.M., Colineau E., Griveau J.-C., Gu'eneau C., Dupin N. (2021) Experimental studies and thermodynamic assessment of the Ba-Mo-O system by the CALPHAD method. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 41, pp. 3664–3686. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.01.010>
2. Shevchenko N.N., Lykova L.N., Kovba L.M. (1974) O volframatach i molibdatach shelochnozemelnykh metallov [About tungstates and molybdates of alkaline earth metals.] *Journal of Inorganic Chemistry*. Vol. 19, No. 4, pp. 971–975.
3. Veksler S.F., Zhukovsky V.M. (1974) Syntez molibdatov bariya Ba<sub>2</sub>MoO<sub>5</sub> i Ba<sub>3</sub>MoO<sub>6</sub>. [Synthesis of barium molybdates Ba<sub>2</sub>MoO<sub>5</sub> and Ba<sub>3</sub>MoO<sub>6</sub>.] *Journal of Inorganic Chemistry*. Vol. 19, No. 12, pp. 3224–3228.
4. Ropp R.C. (2013) Chapter 10 – Group 6 (Cr, Mo and W) Alkaline Earth Compounds. *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds*. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59550-8.00010-7>
5. Bacon P.E. (1995) Searching for new niobium oxide based superconductors: an abstract of the thesis of the degree of Master of Science in Chemistry: Oregon State University. Oregon. 1995.
6. Xing S., Li J., Wang J., Chen H., Qiao H., Yin X., Wang Q., Qi Z., Shi F. (2018) Internal relations between crystal structures and intrinsic properties of nonstoichiometric Ba<sub>1+x</sub>MoO<sub>4</sub> ceramics. *Inorganic Chemistry*. Vol. 57, № 12, pp. 7121–7128. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.8b00841>.
7. McMurdie H.F., Morris M.C., Evans E.H., Paretzkin B., de Groot J.H., Hubbard C.R., Carmel S.J. (1975) Section 12-Data for 57 Substances. *Standard X-ray Diffraction Powder Pattern: monograph* / R.W. Roberts. Washington, 1975. pp.10–11.
8. Ryan, R.R., Mastin, S.H., Reisfeld, M.J. (1971) The crystal structure of K<sub>2</sub>VO<sub>2</sub>F<sub>3</sub>, a nonlinear dioxovanadium(V) group. *Acta Crystallographica Section B Structural Crystallography and Crystal Chemistry*. Vol. 27, pp. 1270–1274. <https://doi.org/10.1107/S0567740871003844>

УДК 621.391

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.8>

## ОБГРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ

**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

**Телюта Р. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту  
Центральноукраїнського національного технічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-4923-1227

*Передача інформації має велику цінність у багатьох сферах життя, технології, науки та комунікації. А безпомилкова передача інформації забезпечує надійність та точність отриманої інформації. Це особливо важливо в критичних ситуаціях, наприклад, в медицині, авіації, фінансових транзакціях, де навіть невеликі помилки можуть мати серйозні наслідки. Крім того безпомилкова передача інформації дозволяє економити ресурси, такі як пропускну здатність мережі, енергія та час, що особливо актуально у сферах зв'язку, де обмежені ресурси повинні бути ефективно використані для передачі великих обсягів даних. В сучасному швидкому темпі життя, швидкість та ефективність комунікації мають вирішальне значення, оскільки безпомилкова передача інформації дозволяє ефективно використовувати її без необхідності витрачати час і зусилля на виправлення помилок або повторну передачу.*

*В даній статті проводиться аналіз та порівняльні дослідження відомих методів помилково-коригуючого кодування інформації, аргументуються критерії та показники їх ефективності. Вивчаються методи побудови каскадних кодових конструкцій, обґрунтовуються перспективні шляхи їх подальшого вдосконалення.*

*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 помилковозахищеності передачі дискретних повідомлень в телекомунікаційних системах і мережах спеціального призначення, включаючи системи управління та зв'язку.*

*Проведені дослідження показали, що розробка перспективних каскадних кодових конструкцій з удосконаленими властивостями, отриманих шляхом каскадування лінійних блокових кодів з швидкими алгоритмами м'якого декодування та ітеративним обміном отриманими рішеннями, може розв'язати виявлену проблему. З одного боку, цей підхід дозволяє зберегти ідеологію турбо-кодування, тобто реалізувати обмін м'якими рішеннями в ітеративному багатокроковому процесі декодування, що забезпечує високу енерго-ефективність завадостійкого коду. З іншого боку, такий підхід дозволить значно знизити складність реалізації алгоритмів декодування, що разом із високою енергоефективністю дозволить використовувати цей клас каскадних кодів у телекомунікаційних системах і мережах спеціального призначення, включаючи системи управління та зв'язку.*

**Ключові слова:** методи завадостійкого кодування, турбокод, м'яке кодування, каскадно-кодова конструкція.

**Zubenko V. O., Bereziuk I. A., Teliuta R. V. Substantiation of ways to improve the methods of noise-resistant coding**

Information transmission is of great value in many areas of life, technology, science and communications. And error-free transmission of information ensures the reliability and accuracy of received information. This is of crucial importance in critical situations, such as in medicine, aviation, and financial transactions, where even small errors can have serious consequences. In addition, error-free information transmission saves resources, such as network bandwidth, energy, and time, which is especially important in communications, where limited resources must be used efficiently to transmit large amounts of data. In today's fast pace lifestyle, the speed and efficiency of communication is crucial, as error-free transmission of information allows efficient use of information without the need to spend time and effort on error correction or retransmission.

The known methods of error-correcting information coding are analyzed in the article, and the criteria and indicators of their effectiveness are argued. The methods of constructing cascade code structures are studied, and promising ways of their further improvement are substantiated.

The analysis and comparative studies of known noise-resistant coding methods have revealed a scientific and technical contradiction between the current state of the scientific and methodological apparatus of noise-resistant coding theory, the capabilities of the applied error correction systems, the existing methods and algorithms of noise-resistant coding (decoding) and the requirements for the properties necessary for practical applications of ensuring a given error protection level of the transmission of discrete messages in telecommunication systems and special-purpose networks, including control and communication systems.

The recent study has shown that the development of promising cascade code constructions with improved properties obtained by cascading linear block codes with fast soft decoding algorithms and iterative exchange of the obtained solutions can solve the identified problem. On the one hand, this approach allows us to preserve the ideology of turbo coding, thus, to implement the exchange of soft solutions in an iterative multi-step decoding process, which ensures high energy efficiency of the noise-resistant code. On the other hand, this approach will significantly reduce the complexity of implementing decoding algorithms, which, together with high energy efficiency, will allow the use of this class of cascade codes in telecommunication systems and special-purpose networks, including control and communication systems.

**Key words:** methods of noise-resistant coding, turbo code, soft coding, cascade code construction.

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших задач, які визначені Концепцією розвитку та зв'язку України, є розробка новітніх методів та технічних засобів цифрової обробки повідомлень, які передаються; технологій завадостійкої високошвидкісної передачі інформації для забезпечення надійності та ефективності комунікаційних систем.

Для розвитку завадостійких технологій, останнім часом найбільшого поширення отримали наступні напрямки досліджень:

- розробка ефективних алгоритмів кодування та декодування, з метою вдосконалення існуючих методів кодування та декодування, та розробку нових алгоритмів, які можуть забезпечувати високу завадостійкість та ефективність передачі інформації.

- використання новітніх кодових схем, тобто пріоритет надається не традиційним кодовим схемам, таким як коди Ріда-Соломона і коди Хемінга, а більш складним та ефективним кодовим схемам, наприклад, турбокодам, кодам Фонтана і LDPC (низькопарітетний домен кодування).

- розробка адаптивних та гнучких систем передачі, які забезпечують завадостійкість та потребують використання адаптивних методів, які враховують змінні умови передачі, такі як шум, перешкоди та інші фактори, що впливають на якість сигналу.

- використання технологій обробки сигналів, які є продовженням досліджень та розробки методів обробки сигналів та допоможуть виявляти та коригувати помилки, які виникають під час передачі, зберігання або обробки даних.

– використання каналів зв'язку з високою завадостійкістю означає розробку технологій, які використовують спеціальні типи каналів зв'язку, що мають властивості для ефективного протистояння шумам, перешкодам та іншим факторам, що можуть впливати на якість сигналу.

Ці напрями розвитку технологій завадостійкої передачі інформації включають як теоретичні дослідження, так і практичну реалізацію в сучасних комунікаційних системах та мають свої переваги та недоліки. Одним із перспективних напрямків дослідження в цьому напрямку є методи синтезу завадостійких кодів з покращеними властивостями, розробка обчислювальних ефективних алгоритмів їх побудови та декодування.

Проведемо дослідження та порівняльний аналіз відомих методів завадостійкого кодування інформації, обґрунтуємо критерії і показники їх ефективності; а також шляхи їх подальшого вдосконалення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** виправлення помилок та забезпечення завадостійкості є важливими властивостями кодів, особливо в сучасних системах зберігання та передачі даних.

Питанням кодування та корекції помилок, при передачі інформації займалась значна кількість вчених: Proakis D.G. (2000) [8], Lin, S., & Costello D. J. (2004). Error control coding: fundamentals and applications, де розглядаються основи кодування та корекції помилок, включаючи різні методи та кодові схеми, а також розглядаються практичні аспекти використання кодів в різних системах зв'язку. Moon, T. K. (2005). Error correction coding: mathematical methods and algorithms, пропонує математичний підхід до кодування та корекції помилок, а також аналізує різні алгоритми декодування та їх математичні основи. Wicker, S. B., & Bhargava, V. K. (1995). Reed-Solomon codes and their applications, спеціалізується на кодах Ріда-Соломона, які є одними з найбільш використовуваних типів завадостійких кодів, та досліджує методи побудови, кодування та декодування цих кодів.

Розробка та дослідження каскадних кодових конструкцій з покращеними властивостями та методів їх декодування з ітеративним обміном м'яких рішень є перспективним напрямом у розвитку теорії помилково-коригуючого кодування. Тому актуальність роботи, присвяченої розробці методів побудови та декодування каскадних кодових конструкцій з покращеними властивостями для підвищення завадостійкості передачі дискретних повідомлень, є неоспоримою.

**Мета статті** – підвищення завадостійкості передачі дискретних повідомлень

**Виклад основного матеріалу.** Одним із основних та найбільш ефективних засобів забезпечення високої завадостійкості передачі дискретних повідомлень є методи надлишкового (завадостійкого) кодування, основи теорії побудови та питання прикладного використання, які найбільш повно викладені в роботах [4; 5; 8; 9].

Проаналізуємо відомі методи завадостійкого кодування, вивчимо перспективні напрями їх подальшого вдосконалення, обґрунтуємо критерії та показники ефективності.

Під ефективністю розуміють відповідність результату виконуваної операції необхідному результату (еталону) [3; 2]. Під операцією, що виконується в даному контексті, будемо розуміти операцію завадостійкої високошвидкісної безпечної телепередачі дискретних повідомлень від відправника до одержувача [3]. Як основний технічний засіб (технічна система) виконання операції виступає система передачі даних (СПД), в якій за допомогою відповідних комплексних заходів забезпечуються необхідні показники завадостійкості, своєчасності та безпеки дискретних повідомлень, що передаються.

Функції завадостійкого кодування (декодування) в СПД покладаються на пристрої захисту від помилок (ПЗВ). Ефективність ПЗВ як ефективність операції завадостійкої телепередачі дискретних повідомлень оцінюється як відповідність отриманої завадостійкості необхідної (заздалегідь заданої).

За визначенням [3; 7] під стійкістю перешкод даних передачі розуміється мінімально необхідне співвідношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності шуму  $E/N_0$ , необхідне для забезпечення заданого рівня достовірності передачі дискретних повідомлень. Відповідно, основним показником достовірності є можливість правильного прийому символів повідомлень  $R_{п.п.}$  або зворотна величина – ймовірність помилкового прийому символів повідомлення  $R_{помил} = 1 - R_{п.п.}$  як показник втрати достовірності. При передачі повідомлень каналами зв'язку показники достовірності можна виразити як функцію від співвідношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності шуму [3; 6; 7; 8]:

$$R_{п.п.}(E/N_0), R_{помил}(E/N_0) = 1 - R_{п.п.}(E/N_0).$$

Енергетичний вигравш від завадостійкого кодування (ЕВК) оцінюється у величині, яка досягається зниженням мінімально необхідного співвідношення енергії сигналу до спектральної щільності потужності  $E/N_0$ , необхідного для забезпечення заданих величин  $R_{помил}$  і  $R_{п.п.}$ , тобто. [3; 6; 7]:

$$EBK = E / N_0(\text{без кодування}) - E / N_0(\text{з кодуванням}) \Big|_{R_{помил}=\text{const}, R_{п.п.}=\text{const}} \dots$$

Таким чином, основним показником ефективності завадостійкого кодування (реалізованого в ПЗВ) є ЕВК, що найчастіше вимірюється в логарифмічній шкалі, в дБ [3; 7; 8].

Слід зазначити, що застосування завадостійких кодів веде до двох негативних наслідків:

- 1) внесення в дані надлишкової інформації (надмірність), що передається, в результаті чого знижується відносна швидкість передачі інформації;
- 2) підвищенню обчислювальної складності обробки дискретних повідомлень, що передаються за рахунок виконання додаткових процедур завадостійкого кодування (декодування).

Очевидно, що ефективною системою кодування може вважатися лише та, яка при мінімальних обсягах надмірності і низької обчислювальної складності реалізації дозволяє забезпечити більший ЕВК. Таким чином, як показники ефективності завадостійкого кодування будемо використовувати:

- 1) енергетичний вигравш від кодування (ЕВК);
- 2) відносну швидкість передачі (R);
- 3) обчислювальну складність реалізації процедур кодування та декодування (SR).

До перерахованих показників слід віднести також можливість виправлення складних змін виникаючих помилок, зокрема. довгих пакетів помилок.

Як критерії ефективності системи завадостійкого кодування будемо використовувати:

- максимізацію енергетичного вигравшу від кодування ( $\max(EBK)$ );
- максимізацію відносної швидкості передачі даних ( $\max(R)$ );
- мінімізацію обчислювальної складності реалізації процедур кодування та декодування ( $\min(SR)$ ).

Узагальнюючи вище викладене, оцінку та порівняння завадостійкості передачі дискретних повідомлень при використанні методів та засобів завадостійкого кодування, якщо не зазначено окремо, будемо проводити при фіксованій відносній швидкості  $R = \text{const}$ .

Проаналізуємо відомі методи завадостійкого кодування, дослідимо їх за розглянутими показниками та критеріями ефективності.

Основною перевагою безперервних і, перш за все, згорткових кодів є висока енергетична ефективність (високий енергетичний вигравш від кодування (ЕВК)), що визначає високу стійкість до перешкод дискретних повідомлень.

У таблиці 1 наведено порівняльні оцінки деяких методів згорткового кодування (СК) за такими показниками:

- 1) енергетична ефективність – величина енергетичного вигравшу від кодування проти некодированной передачею інформації, дБ;
- 2) можливість виправлення складних змін помилок, зокрема. довгих пакетів помилок;
- 3) обчислювальна складність реалізації алгоритмів кодування та декодування.

Дані таблиці 1 сформовані на основі аналізу науково-технічної літератури їх вітчизняних та зарубіжних джерел [4; 7; 8].

Таблиця 1

#### Порівняльні оцінки деяких безперервних методів завадостійкого кодування за різними показниками

Метод завадостійкого кодування	Енергетична ефективність (ЕВК)	Можливість виправлення складних конфігурацій помилок	Складність реалізації алгоритмів кодування та декодування (SR)
СК з декодуванням по Віттербі	4,5–6,5	Так	Висока
СК з м'яким декодуванням по Віттербі	5,5–7,5	Так	Дуже висока
СК із послідовним декодуванням	3,5–5,5	Так	Середня
СК із пороговим декодуванням	3,5–4,5	Так	Дуже низька

Аналіз наведених у таблиці 1 даних показує, що застосування завадостійких кодів дає різний енергетичний вигравш за різної обчислювальної складності реалізації. Найбільший енергетичний вигравш дають методи згортання з декодуванням по максимуму правдоподібності. Так, наприклад, методи згорткового кодування дають енергетичний вигравш 4,5–6,5 дБ, а за використання алгоритмів декодування з м'якими рішеннями цей ефект можна посилити ще на 0,5–1,5 дБ.

Таким чином, як показав проведений аналіз, методи побудови та декодування згорткових кодів є важливим розділом сучасної теорії завадостійкого кодування. В той же час, існуючий стан обчислювальних алгоритмів декодування безперервних кодів стримує їх подальший розвиток: методи декодування по максимуму правдоподібності приваблює високими показниками ЕВК, але за обчислювальною складністю можна порівняти з перебірними процедурами і для великої довжини кодового обмеження малопридатні; послідовне декодування є компромісом між високими показниками ЕВК та обчислювальною складністю алгоритмів, проте



наявність низки конструктивних недоліків, у т.ч. ефекту переповнення буфера, знижує практичну цінність послідовного пошуку по ґратах; порогові декодування є найбільш обчислювально ефективним підходом, проте завдання синтезу самоортогональних та ортогоналізованих кодів у загальному випадку не вирішено, існуючі методи синтезу не дозволяють забезпечити високі показники ЕВК. Перспективним напрямом подальшого розвитку безперервних кодів є методи каскадування (паралельного та/або послідовного об'єднання), що дозволить забезпечити високі показники ЕВК за порівняно низької обчислювальної складності реалізації.

Проведемо аналіз та дослідимо відомі методи блокового завадостійкого кодування інформації, розглянемо найбільш перспективні напрямки у його розвитку.

Таким чином, найбільш важливими класами лінійних блокових кодів є циклічні коди, коди БЧХ, РС та алгеброгеометричні коди, що є теоретичним узагальненням поліноміальних кодів, що допускають опис алгебри багаточленами від однієї формальної змінної. Алгеброгеометричні коди мають хороші асимптотичні властивості і при великій довжині коду їх параметри лежать вище нижньої теоретичної кодової межі.

Для порівняння у таблиці 2 наведено порівняльні оцінки деяких методів блокового завадостійкого кодування (БК) за такими показниками:

- 1) енергетична ефективність – величина енергетичного виграшу від кодування проти декодированої передачею інформації, дБ;
- 2) можливість виправлення складних змін помилок, зокрема. довгих пакетів помилок;
- 3) обчислювальна складність реалізації алгоритмів кодування та декодування.

Таблиця 2

### Порівняльні оцінки деяких блокових методів завадостійкого кодування за різними показниками

Метод завадостійкого кодування	Енергетична ефективність (ЕВК)	Можливість виправлення складних конфігурацій помилок	Складність реалізації алгоритмів кодування та декодування (SR)
БЧХ код з декодуванням алгебри	2,5–3,5	Ні	Низька
РС код з декодуванням алгебри	3,5–4,5	Так	Низька
АГ код з декодуванням алгебри	4,5–5,5	Так	Низька
Лінійний БК з м'яким декодуванням за критерієм мінімізації ймовірності помилкового прийому кодового слова	4,5–6,0	Так	Дуже висока
Лінійний БК з м'яким декодуванням за критерієм мінімізації ймовірності помилкового прийому символів кодового слова	4,5–6,0	Так	Дуже висока

Дані таблиці 2 сформовані на основі аналізу джерел науково-технічної літератури вітчизняних та зарубіжних авторів [8; 2; 4; 7; 1].

Аналіз даних, наведених у таблиці 2 свідчить, що застосування блокових завадостійких кодів призводить до значного підвищення енергетичної ефективності передачі дискретних повідомлень. Найбільш ефективні в цьому сенсі є недвійкові

лінійні блокові коди (коди РС, алгеброгеометричні (АГ) коди), які крім високого ЕВК дозволяють ефективно протистояти складним комбінаціям помилок, що групуються. Крім того, методи алгебри побудови лінійних блокових кодів і швидкі алгоритми їх декодування легко реалізуються як в програмному, так і в апаратному вигляді. У той же час слід зазначити, що в порівнянні з згортковими кодами, особливо в порівнянні з процедурами їхнього м'якого декодування (див. табл. 1) лінійні блокові коди значно поступаються досягається ЕВК. Фактично одержуване зниження ЕВК є плата за низьку обчислювальну складність реалізації лінійних блокових кодів.

Іншим не менш перспективним напрямком у розвитку теорії завадостійкого кодування є методи м'якого декодування лінійних блокових кодів за критерієм мінімізації ймовірності помилкового прийому символів кодового слова та/або за критерієм мінімізації ймовірності помилкового прийому символів кодового слова. Даний напрямок привабливо високими значеннями ЕВК, що досягається. У той же час методи м'якого декодування надзвичайно складні у практичній реалізації.

Таким чином, проведені аналіз та порівняльні дослідження показали, що існуючим методам завадостійкого кодування притаманні такі недоліки: висока складність реалізації алгоритмів синтезу та декодування по максимуму правдоподібності безперервних (деревоподібних) та лінійних блокових кодів за досить високих показників ЕВК; порівняно низькі значення ЕВК лінійних блокових кодів (порівняно з алгоритмами м'якого декодування згорткових кодів) за низької обчислювальної складності алгебраїчних методів їх синтезу та декодування.

На рис. 1 наведено загальну класифікацію каскадних кодових конструкцій із зазначенням структурно-логічних зв'язків та закономірностей у загальній методології їх побудови.

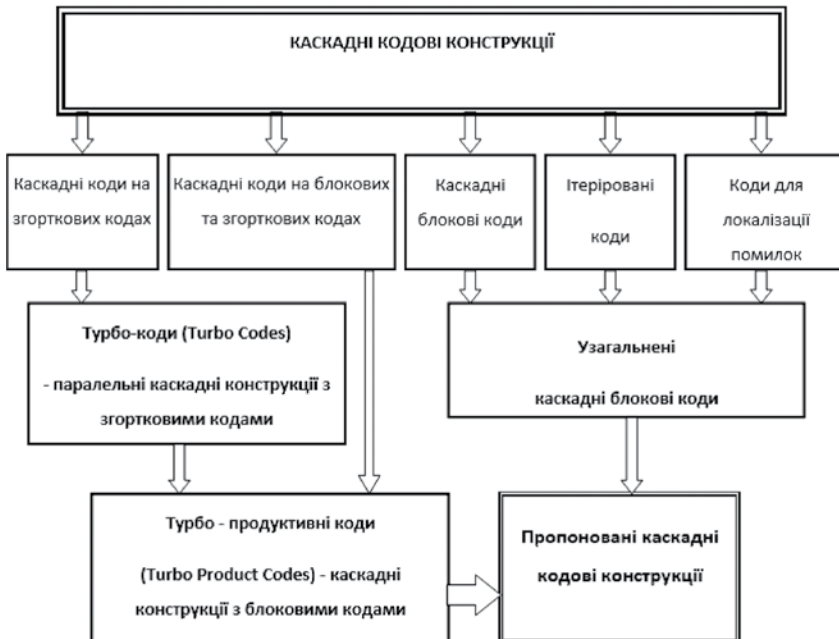


Рис. 1. Загальна класифікація каскадних кодових конструкцій

Відповідно до загальних тенденцій у розвитку теорії завадостійкого кодування методи формування каскадних кодових конструкцій також розвивалися за двома основними напрямками.

На основі подальшого розвитку першого напрямку, що оперує деревоподібними кодами з ймовірнісними процедурами синтезу та декодування кодів, у роботах [3; 5; 7] досліджено каскадні кодові конструкції на згорткових кодах у різних варіантах виконання, з різними особливостями побудови.

У роботах [7; 8; 1; 5] запропоновані каскадні схеми безперервних та блокових кодах, що отримали широке використання в сучасних системах мобільного зв'язку, протоколах передачі даних телекомунікаційних систем та мереж різного призначення [7].

Надалі, на основі каскадних кодових конструкцій з згортковими кодами та м'яких процедур декодування виник новий напрямок у теорії завадостійкого кодування – турбо-коди (паралельні каскадні кодові конструкції на рекурсивних систематичних згорткових кодах) [9; 4; 5; 8].

У розвиток другого напрямку теорії кодів, що контролюють помилки, що оперує переважно алгебраїчними процедурами синтезу та декодування кодів, у роботах [1; 2; 5] запропоновані методи та алгоритми каскадування блокових кодів, у т.ч. ітеровані коди та коди з локалізацією помилок.

Цей напрямок отримав найбільший розвиток з появою алгебраїчних методів побудови та декодування лінійних блокових кодів [8; 1; 2; 3; 7], обчислювально ефективних процедур програмної та апаратної реалізації. Надалі добре вивчені каскадні блокові коди, ітеровані коди та коди для локалізації помилок були узагальнені в новий великий клас узагальнених каскадних блокових кодів, алгебраїчна теорія побудови та декодування яких найбільш повно викладена в роботах [8; 9].

В останні роки на основі методів турбо-кодування та каскадних блокових кодів виник новий напрямок – турбо-продуктивні коди, що поєднує в собі як високу стійкість до перешкод, що забезпечується м'якими ітеративними процедурами декодування, так і низьку обчислювальну складність реалізації, властиву алгебраїчним методам блокового кодування [1; 8; 7; 9].

Зазначені особливості та переваги турбо-продуктивних кодів спонукають до подальшого розвитку даного напрямку в теорії завадостійкого кодування, удосконалення методів та алгоритмів побудови та декодування перспективних каскадних кодових конструкцій з покращеними властивостями для підвищення завадостійкості передачі дискретних повідомлень.

**Висновки.** Основним і найбільш ефективним засобом забезпечення високої завадостійкості передачі дискретних повідомлень є методи надлишкового (завадостійкого) кодування. Проведений аналіз та порівняльні дослідження показали, що існують наступні недоліки в існуючих методах завадостійкого кодування: висока складність реалізації алгоритмів синтезу та декодування за принципом максимуму правдоподібності для неперервних (деревоподібних) та блокових кодів при достатньо високих значеннях ЕВК та коригування; порівняно низькі значення ЕВК та коригування лінійних блокових кодів (у порівнянні з алгоритмами м'якого декодування звичайних кодів зв'язності) при низькій обчислювальній складності алгебраїчних методів їх синтезу та декодування.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Бойко Ю. М., Дружинін, В. А., Толюпа, С. В. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія. Київ : Логос, 2018.
2. Бойко Ю.М., Пятін І.С. Моделі систем завадостійкого кодування у телекомунікаціях. *Вісник Хмельницького національного університету*. № (4). С. 174–183
3. Berkman L., Turovsky O., Kyrpach L., Varfolomeeva O., Dmytrenko V., Pokotylo O. Analyzing the code structures of multidimensional signals for a continuous information transmission channel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5. №. 9. P. 70–81. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242357>
4. Березюк І., Зубенко В. Удосконалення методу м'якого декодування з використанням упорядкованих підмножин перевірочних рівнянь лінійних блокових кодів. *Scientific practice: modern and classical research methods: Collection of scientific papers "LOGOS" with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. 2021. Volume. 1, Pp. 195–201. Boston – Vinnytsia : Primedia eLaunch & European Scientific Platform.
5. Приходько С.И., Гусев С.А., Зубенко В.А. Исследование методов построения каскадных кодовых конструкций для повышения помехоустойчивости передачи дискретных сообщений. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2011. № (17). С. 219–224
6. Зубенко, В.О., Мірошніченко, М.С. () Підвищення завадостійкості передачі дискретних повідомлень на основі використання каскадно-кодових конструкцій. *Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті* : матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. 2017. Рр. 58–60. (16–17 листопада, 2017, Кропивницький).
7. Хмельницький Ю. В., Каблуков О. А. Методи та засоби забезпечення завадостійкої передачі інформації в телекомунікаційних мережах. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2019. № (64). Р. 133–143.
8. Proakis D.G. Digital Communications. McGraw-Hill Science / Engineering / Math; 4th edition. August 15, 2000. 1024 p.
9. Kushnir M., Semenکو A., Kosovan G., Bokla N., & Shestopal Y. Increasing the Cryptosecurity of Telecommunication Systems with Spread Spectrum by Using Pseudorandom Sequences Based on Two Ergodic Chaotic Signals. In 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies. *AICT 2019 – Proceedings*. 2019. P. 455–458. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

**REFERENCES:**

1. Bojko, Yu. M., Druzhinin V. A. & Tolyupa, S. V.(2018) Teoretichni aspekti pidvishennya zavadostijkosti j effektivnosti obrobki signaliv v radiotekhnichnih pristroyah ta zasobah telekomunikacijnih sistem za nayavnosti zavad [Theoretical aspects of improving immunity to interference and the efficiency of signal processing in radio technical devices and means of telecommunication systems in the presence of interference] : Monografiya. Kiyiv: Logos.[in Ukrainian].
2. Bojko, Yu.M., Pyatin, I.S. (2020) Modeli sistem zavadostijkogo koduvannya u telekomunikacijah [Models of interference-resistant coding systems in telecommunications] *Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu*, (4), 174–183. [in Ukrainian].
3. Berkman, L., Turovsky, O., & Kyrpach, L., Varfolomeeva, O., Dmytrenko, V., Pokotylo, O. (2021) Analyzing the code structures of multidimensional signals for a continuous information transmission channel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. (Vol. 5. №. 9.). 70–81 Retrieved from <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242357>

4. Bereziuk, I. & Zubenko, V. Udoskonalennia metodu miakoho dekoduvannia z vykorystanniam uporiadkovanykh pidmnozhyh perevirochnykh rivnian liniinykh blokovykh kodiv [Improvement of the soft decoding method using ordered subsets of check equations of linear block codes]. *Scientific practice: modern and classical research methods: Collection of scientific papers "LOGOS" with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference*. (Volume. 1, Pp. 195–201), 2021, Boston-Vinnitsia: Primedia eLaunch & European Scientific Platform [in Ukrainian].
  5. Prykhodko, S.Y., Husev, S.A. & Zubenko V.A. (2011) Yssledovanye metodov postroyeniya kaskadnykh kodovykh konstruksiyi dlia povysheniya pomekhoustoichyvosti peredachy dyskretnykh soobshcheniy [Investigation of methods for constructing cascade code structures to improve the noise immunity of discrete message transmission]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, (17), 219–224 [in Ukrainian].
  6. Zubenko, V.O., Miroshnichenko, M.S. (2017) Pidvyshchennnia zavadostiikosti peredachi dyskretnykh povidomlen na osnovi vykorystannia kaskadno-kodovykh konstruksii [Increasing the interference resistance of the transmission of discrete messages based on the use of cascade code structures]. *Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii. Avtomatyka ta kompiuterno-intehrovani tekhnologii u promyslovosti, telekomunikatsiakh, enerhetytsi ta transporti* (Pp. 58–60), 16–17 lystopada, 2017, Kropyvnytskyi [in Ukrainian].
  7. Khmelnytskyi, Yu. V., Kablukov, O. A. (2019) Metody ta zasoby zabezpechennia zavadostiikoi peredachi informatsii v telekomunikatsiinykh merezhakh [Methods and means of ensuring interference-resistant information transmission in telecommunication networks]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, (64), 133–143. [in Ukrainian].
  8. Proakis D.G. (2000) *Digital Communications*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 4th edition (August 15, 2000). 1024 p. [in English].
  9. Kushnir M., Semenko A., Kosovan G., Bokla N., & Shestopal Y. (2019). Increasing the Cryptosecurity of Telecommunication Systems with Spread Spectrum by Using Pseudorandom Sequences Based on Two Ergodic Chaotic Signals. *In 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings* (pp. 455–458). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
-

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.9>

## РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКІВ ТА СЕРВІСІВ НА ПЛАТФОРМІ NODE.JS

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

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

**Тацій Д. С.** – здобувач освіти спеціальності «Комп'ютерні науки»  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0009-0001-9146-4833

**Олексійчук Ю. Ф.** – кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0002-0585-3307

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

У роботі зроблено огляд систем дистанційного навчання, виділено їх позитивні та негативні сторони, також описано теорію та практичне застосування платформи Node.js. Сформульовано вимоги до функціональності для розроблюваного програмного забезпечення. Виконано опис проектних рішень, інструментів та підходів до розробки програмного забезпечення для системи дистанційного завдання у вигляді сервісу телеграм-боту для перегляду розкладу. Спроектовано та розроблено телеграм-бот для перегляду розкладу занять, як окремий сервіс.

Реалізація сервісу перегляду розкладу через телеграм-бот включає розробку як сервісу телеграм-боту, так і серверної логіки системи дистанційного навчання.

Після того, як користувач авторизувався в системі, в нього повинен з'являтися доступ до телеграм-бота, за допомогою якого він буде мати можливість переглядати розклад за власними групами.

Для того, щоб почати роботу з телеграм-ботом, користувач повинен перейти до налаштувань свого облікового запису в системі, де має бути кнопка для підключення до телеграм-боту, після натискання якої повинен здійснитися перехід до сторінки з телеграм-ботом для подальшої авторизації користувача в ньому. Після успішної авторизації телеграм-бот надає доступ до клавіатури головного меню, де знаходяться три кнопки: «Розклад на сьогодні», «Розклад на завтра» та «Розклад на тиждень». Після натискання кнопки «Розклад на сьогодні» телеграм-бот повинен відправити розклад на сьогоднішній день за всіма курсами користувача, відповідно до назви і у випадку натискання на кнопку «Розклад на завтра», також у обох випадках повинна бути клавіатура під повідомленням про розклад, що дозволить перемикатися між днями. В свою чергу після натискання кнопки «Розклад на тиждень», повинен бути відправлений розклад на поточний тиждень, і також з можливістю перемикатися до наступних або попередніх тижнів за допомогою стрілок вниз повідомлення. Якщо розкладу немає або його неможливо отримати, то телеграм-бот повинен повідомлення про відсутність розкладу.

Розроблене програмне забезпечення системи дистанційного навчання розміщено на хост-сервісі, до нього мають доступ користувачі в будь-який час. Програмний продукт є результатом автоматизації навчального процесу у дистанційній формі. Саме тому він покриває основні потреби студентів та викладачів у навчальному процесі. Результати розробки впроваджено в початковий процес Полтавського університету економіки і торгівлі.

**Ключові слова:** бібліотека, веб-додаток, цикл подій, модуль.

***Koshova O. P., Olkhovska O. V., Tatsii D. S., Oleksiichuk Yu. F., Chernenko O. O. Development of web-applications and services powered by Node.js***

*The work provides an overview of distance learning systems, highlights their positive and negative sides, and also describes the theory and practical application of the Node.js platform. Functionality requirements for the developed software are formulated. A description of design solutions, tools and approaches to the development of software for a remote task system in the form of a telegram service for viewing the schedule has been made. Designed and developed a Telegram bot for viewing the schedule of classes as a separate service.*

*The implementation of the schedule viewing service through the Telegram bot includes the development of both the Telegram bot service and the server logic of the distance learning system.*

*After the user has been authorized in the system, he should have access to the Telegram bot, with the help of which he will be able to view the schedule by his own groups.*

*In order to start working with the Telegram bot, the user must go to the settings of his account in the system, where there should be a button to connect to the Telegram bot, after clicking which a transition should be made to the page with the Telegram bot for further authorization of the user in him. After successful authorization, the Telegram bot provides access to the main menu keyboard, where there are three buttons: "Schedule for today", "Schedule for tomorrow" and "Schedule for a week". After pressing the "Schedule for the hour" button, the telegram bot should send the schedule for today for all courses of the user, according to the name, and in the case of clicking the button "Schedule for tomorrow", also in both cases there should be a keyboard under the message about the schedule, which will allow you to switch between days. In turn, after pressing the "Schedule for the week" button, the schedule for the current week should be sent, and it is also possible to switch to the next or previous weeks using the arrows at the bottom of the message. If there is no schedule or it cannot be obtained, the Telegram bot should report that there is no schedule.*

*The developed software of the distance learning system is placed on the host service, users can access it at any time. The developed system is the result of the automation of the educational process in a remote form. That is why it covers the basic needs of students and teachers in the educational process. The results of the development were implemented in the initial process of the Poltava University of Economics and Trade.*

**Key words:** library, web-application, event loop, module.

**Актуальність роботи.** Досвід останніх років показав, що питання розвитку дистанційного навчання є досить актуальним [1–4], адже такий вид навчання допомагає у вирішенні проблеми, коли люди не можуть перебувати всі разом в одній аудиторії. Дистанційна форма навчання дозволяє приймати участь у освітньому процесі з будь-якої точки планети як студентам, так і викладачам, що є вагомим плюсом, бо надає змогу повноцінно навчатися або викладати людям, які живуть у важкодоступній місцевості, знаходяться за кордоном тощо. Також до переваг такої форми навчання можна віднести можливість підлаштувати навчання під свій індивідуальний графік, що дозволить навчатись у власному темпі та у зручний час, бо студент, навіть будучи відсутнім на занятті, має доступ до всіх матеріалів, які він може перечитати в будь-який момент, також може переглянути відео-запис лекції та зв'язатися з викладачем online, якщо в нього виникнуть питання. Отже, за допомогою дистанційного навчання студент одночасно може працювати та навчатися в декількох навчальних закладах.

Система дистанційного навчання не тільки забезпечує вище перелічені можливості, а й може надавати деякі додаткові: онлайн-тестування, архівація пройдених

курсів та оцінок студентів, чат з викладачем, онлайн-журнал оцінок, email-розсилка тощо. Наприклад, онлайн-тестування може зекономити час викладачеві на перевірку, адже система сама порахує кількість правильних відповідей та виставить оцінку, або її може виставити викладач за результатами тестування. У свою чергу онлайн-журнал може допомогти студенту дізнатися оцінки за здані роботи та оцінити свою успішність. Якщо студентам або викладачу потрібно переглянути інформацію за пройдені курси, то тут стане у пригоді архівація курсів, що дозволить переглянути матеріали, завдання та оцінки. Якщо ж у студента чи викладача виникають запитання, то онлайн-чат може допомогти у їх вирішенні. Також email-розсилка надає можливість студентам дізнаватися про нові завдання, оцінки, повідомлення тощо. Окрім цього, системи дистанційного навчання також можуть надати можливість взаємодії з ними через ботів в месенджерах, наприклад: телеграм-бот для швидкого та зручного перегляду розкладу занять, бо користувачу не потрібно буде для цього постійно заходити на сайт системи, що буде економити його час.

Огляд найбільш використовуваних на сьогодні онлайн-платформ, зокрема, Google Classroom [5], Moodle [6], Canvas [7], для навчання показав, що всі вони мають як переваги, так і недоліки.

Зважаючи на вказану вище актуальність, було вирішено розробити програмне забезпечення системи дистанційного навчання, а саме одну з її частин: функціональність перегляду розкладу занять за допомогою телеграм-боту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Беручи до уваги постановку завдання та специфіку системи, що розробляється, а також в результаті аналізу існуючих інструментів та проектних рішень, було вирішено використати наступні засоби та інструменти розробки:

- платформа: Node.js;
- мова програмування: TypeScript;
- сервіс телеграм-боту: Telegraf, Axios;
- серверна частина: NestJs, Passport, TypeORM, Swagger;
- СУБД: PostgreSQL;
- інструмент адміністрування та розробки для PostgreSQL: pgAdmin;
- розподілене сховище даних, що зберігає інформацію в пам'яті: Redis;
- розподілена система контролю версій: Git;
- середовище розробки: Visual Studio Code;
- інструмент розробки дизайну: Figma;

Node.js – це середовище, із відкритим програмним кодом, для запуску додатків написаних на мові програмування JavaScript. Node.js кросплатформний, що показує його можливість працювати на різних операційних системах, таких як: Windows, Linux, Unix, macOS тощо [8].

Node.js був створений американським розробником Райаном Далом. Основною причиною, що підштовхнула Райана до створення Node.js, була відсутність у серверних платформ можливості ефективної обробки користувацьких запитів до системи вводу/виводу, оскільки це відбувалося шляхом виділення окремого потоку на кожний запит, що призводило до неефективного розподілу ресурсів, тому що код виконувався синхронно і виділений потік простоював не використовуючи всі виділені ресурси на повну. Node.js покликаний вирішити цю проблему за допомогою своєї неблокуючої моделі обробки запитів [9].

Неблокуюча модель обробки запитів означає можливість серверу безперервно обробляти користувацькі запити, не очікуючи виконання попередніх. Це стало



можливим завдяки одній з основних частин Node.js: бібліотеки `libuv`. Бібліотека `libuv`, яка написана на мові C і була створена для реалізації асинхронного, неблокуючого доступу до системи введення та виводу, за допомогою однієї з основних особливостей Node.js – Event loop (цикл подій), Event loop – це механізм неперервної обробки подій, які викликаються в процесі роботи серверу, що дає йому можливість працювати асинхронно. Event loop постійно очікує нову подію і, коли така трапляється, то він починає виконувати весь код, що стоїть за нею. У разі виклику блокуючої операції (операція вводу/виводу, що виконується бібліотекою `libuv` на мові C) передає її виконання у окремий потік, після чого продовжує очікувати нові події. Таким чином, Event loop обробляє всі запити в одному потоці і тільки за потреби передає у окремий потік, хоча кількість цих потоків обмежена, і цим забезпечує безперервну обробку користувачьких запитів до серверу. З огляду на все вище описане можна зробити висновок, що Node.js може обробляти одночасну велику кількість запитів на сервер, що робить його досить ефективним та невимогливим до ресурсів серверної машини. Єдиний мінус Node.js – складність обробки важких обчислень, адже, як було зазначено раніше, дана платформа працює в одному потоці, і якщо це не блокуюча операція, то вона виконується в цьому одному потоці, а інші операції чекають її виконання, що може уповільнити роботу серверу [10–12].

Оскільки бібліотека `libuv` написана на мові програмування C, то щоб мова JavaScript могла використовувати інтерфейс цієї бібліотеки, їй потрібен засіб, що буде виконувати роль «мосту». В Node.js цим мостом є рушій JavaScript під назвою V8. V8 було створено компанією Google для запуску та ефективного виконання коду, написаного на мові програмування JavaScript, в браузері. Розробники Node.js вдалося дістати цей рушій прямо з браузера і зробити можливим ефективний запуск коду JavaScript поза межами браузера з можливістю комунікувати з операційною системою серверу за допомогою вище описаної бібліотеки `libuv`.

З огляду на те, що Node.js використовує мову програмування JavaScript, це дає можливість написання клієнтських та серверних додатків на одній мові, що є безумовним плюсом, адже розробник може розробляти повноцінні веб-додатки без вивчення нових мов.

Також невід'ємною частиною Node.js є модулі [12], адже будь-який проект складається з окремих, пов'язаних між собою, модулів. Модуль – це окремий файл з певним набором класів, функцій та змінних, які можуть бути використані в будь-якій іншій частині проекту. Модуль може бути представлений у вигляді одного окремого самостійного файлу, або файлу, що використовує інші модулі. В Node.js є три типи модулів: основні, локальні та сторонні. Основні – це модулі, які вбудовані в Node.js і надають базовий набір інструментів для розробки додатків, наприклад: можливість проводити операції з файлами, розгорнути веб-сервер тощо. Локальні – це модулі, які створюються самим розробником в середині проекту. Сторонні – це модулі, що створюються для реалізації певної функціональності, яку можна буде використовувати в інших проектах як бібліотеку чи фреймворк.

Серед основних модулів Node.js є декілька найважливіших [10]:

- 1) `http` – містить набір інструментів для створення та розгортання веб-серверу;
- 2) `util` – містить функції, які можуть допомогти при розробці додатків, або інших модулів;
- 3) `fs` – містить набір інструментів для операцій пов'язаних з файлами;
- 4) `querystring` – містить функції для роботи з URL-параметрами;
- 5) `stream` – містить набір інструментів для роботи з потоками даних.

Для розповсюдження сторонніх модулів для Node.js використовується менеджер пакетів NPM (Node Package Manager), що дозволяє будь-кому опублікувати власний модуль в публічний доступ, і відповідно завантажити його будь-кому у власний проект. NPM є популярним і має величезну спільноту, тому містить велику кількість різних пакетів бібліотек та фреймворків, що дає можливість з великою долею вірогідності знайти потрібне рішення під конкретну задачу.

За допомогою Node.js можна створювати різні додатки або сервіси, наприклад: месенджери, соціальні мережі, односторінкові веб-додатки, стрімінгові сервіси, платіжні сервіси тощо.

На даний момент серед найвідоміших компаній, що використовують Node.js можна побачити: NASA, Trello, Netflix, PayPal, LinkedIn, Walmart, Uber, Twitter, Yahoo, eBay та GoDaddy.

Беручи до уваги все вище описане, було вирішено використати Node.js в рамках розробки системи дистанційного навчання, а саме завдання по розробці функціональності розкладу у вигляді телеграм-боту, як окремого сервісу для забезпечення повноти роботи системи, що буде складатися з серверної частини для керування даними розкладу та самого телеграм-боту для його перегляду.

Для реалізації поставленого завдання використано сторонній модуль (фреймворк) для Node.js під назвою NestJS, що дозволяє значно спростити реалізацію серверних додатків, шляхом розділення всією функціональності на окремі модулі, які містять: контролери для обробки запитів, сутності, що описують поля для бази даних; і сервіси, що витягують, оброблюють та передають дані між контролерами та базою даних у вигляді сутностей.

Наступним кроком була реалізація доповнення розробленого модуля для роботи з курсами у вигляді: нових обробників контролера з курсів, що приймають запити на створення, отримання, редагування та видалення даних про сутності розкладу; сутність розкладу, яка описує наступні поля: дата, час початку, час закінчення; і сервісу, що оброблює та передає дані про розклад між контролером та базою даних.

Далі було додано функціональність авторизації користувача системи в телеграм-боті, шляхом реалізації наступних частин: сервіс та модуль кешування даних, для зберігання тимчасового ключа, який використовується для авторизації в телеграм-боті; перехоплювачі користувачських запитів отримання розкладу для перевірки на те, чи справді ці запити відправляються з телеграм-боту авторизованим в ньому користувачем; сервіс для роботи із сутністю розкладу та відповідний обробник для авторизації в самому телеграм-боті.

Насамкінець, розроблено сервіс для отримання розкладу в телеграм-боті та функціональність його виводу користувачу в телеграм-чаті.

В результаті було реалізовано повноцінний телеграм-бот для перегляду розкладу та серверну частину для його комунікації з системою дистанційного навчання.

Процес роботи з телеграм-ботом можна описати наступним чином:

1) Користувач заходить в систему дистанційного навчання, переходить до сторінки налаштування власного облікового запису та натискає на кнопку «Підключити Telegram-розклад» (рис. 1).

2) Після натискання кнопки на сервері створюється телеграм-токен і користувача перенаправляє до сторінки з телеграм-ботом, де в посиланні буде вказано цей токен (рис. 2).

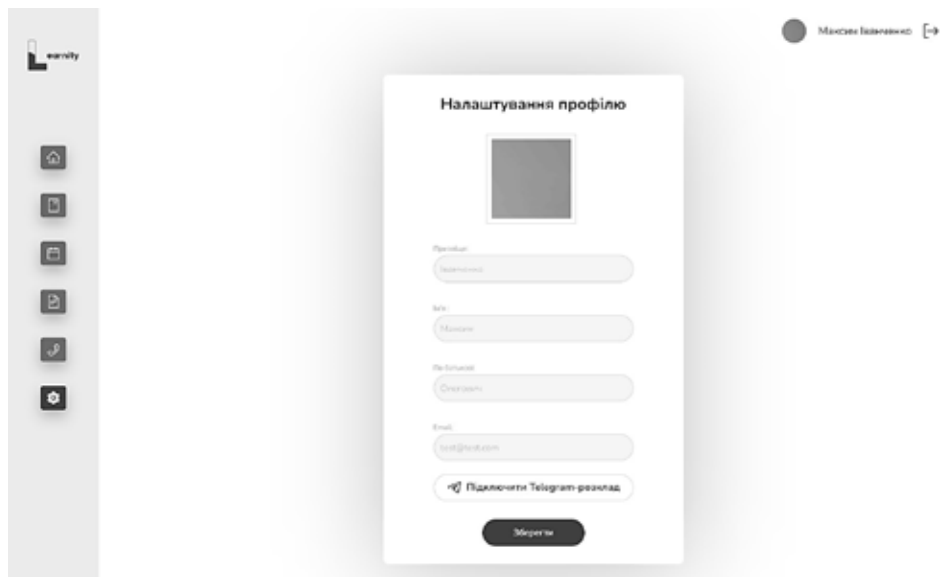


Рис. 1. Сторінка налаштування облікового запису

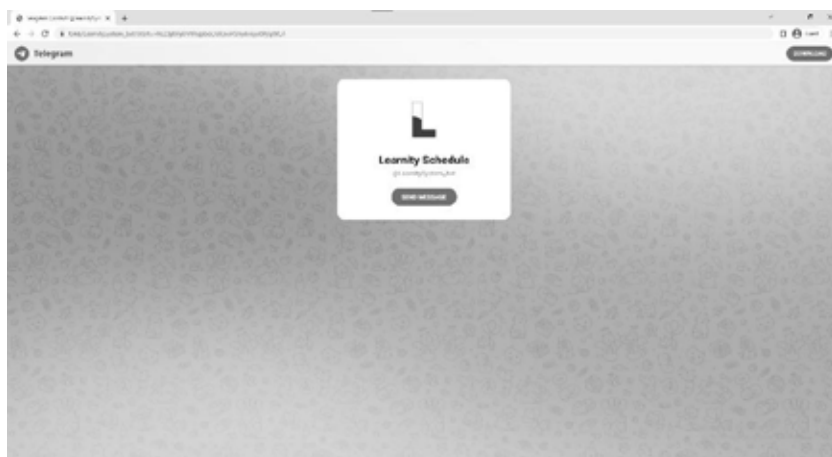


Рис. 2. Сторінка телеграм-боту з токеном у посиланні

3) Далі користувач переходить до чату з телеграм-ботом, де після початку листування буде здійснено спробу авторизації за допомогою серверу системи дистанційного навчання і, у випадку успіху, бот відправить повідомлення з привітанням та головним меню (рис. 3). У випадку помилки під час авторизації буде відправлено відповідне повідомлення з помилкою (рис. 4). Після успішної авторизації сервер зберігає телеграм-ідентифікатор користувача в базі даних і в подальшому звіряє його з тим, який приходить від телеграм-боту, щоб впевнитися, що бот використовується авторизованим користувачем. Також у користувача з'явиться можливість швидкого переходу до чату з телеграм-ботом з головної сторінки системи за допомогою кнопки «Telegram-розклад» (рис. 5).

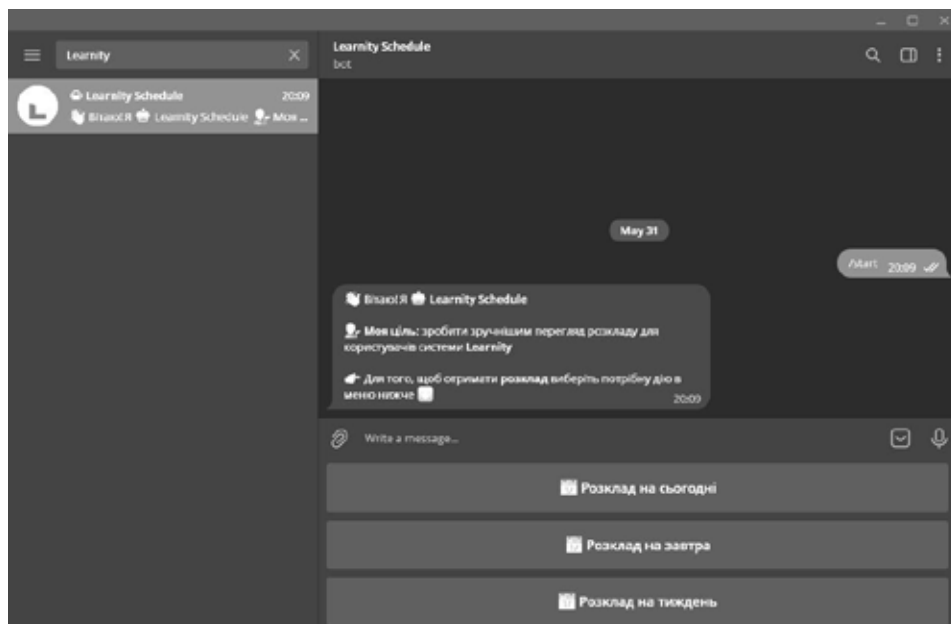


Рис. 3. Повідомлення з привітанням

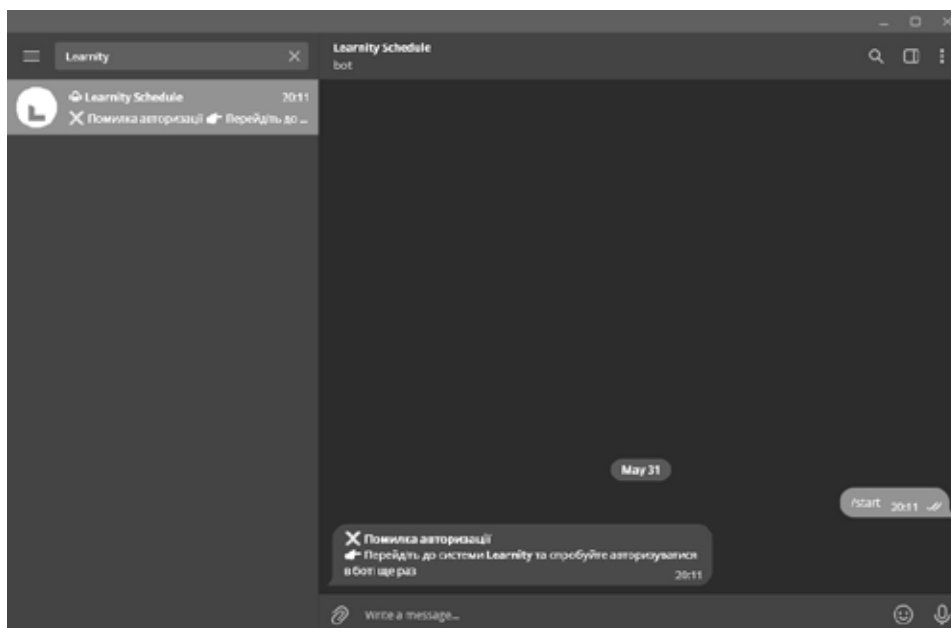


Рис. 4. Повідомлення про помилку авторизації

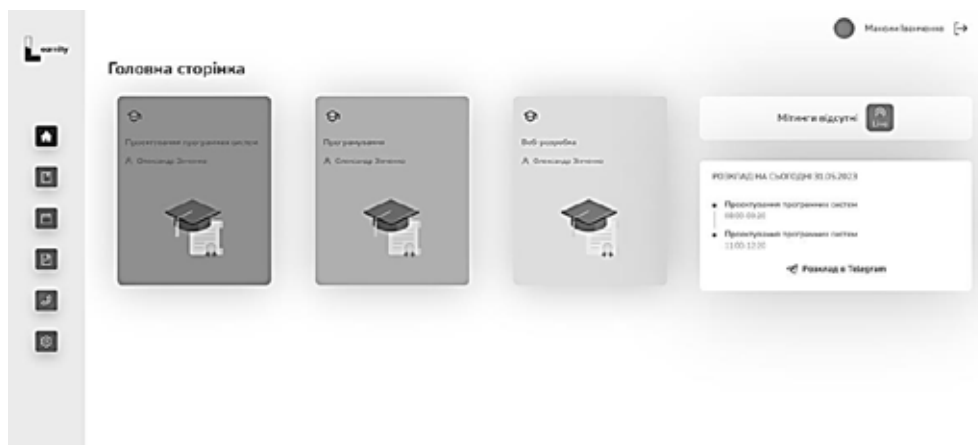


Рис. 5. Головна сторінка системи дистанційного навчання

4) Тепер користувач має змогу повноцінно використовувати телеграм-бота для перегляду свого розкладу занять системи дистанційного навчання, для цього потрібно натискати відповідні кнопки у головному меню, наприклад: «Розклад на сьогодні», після чого з'явиться відповідне повідомлення з розкладом на сьогодні (рис. 6). Для інших кнопок будуть відправлятися відповідні повідомлення подібні до повідомлення з розкладом на сьогодні (рис. 7).

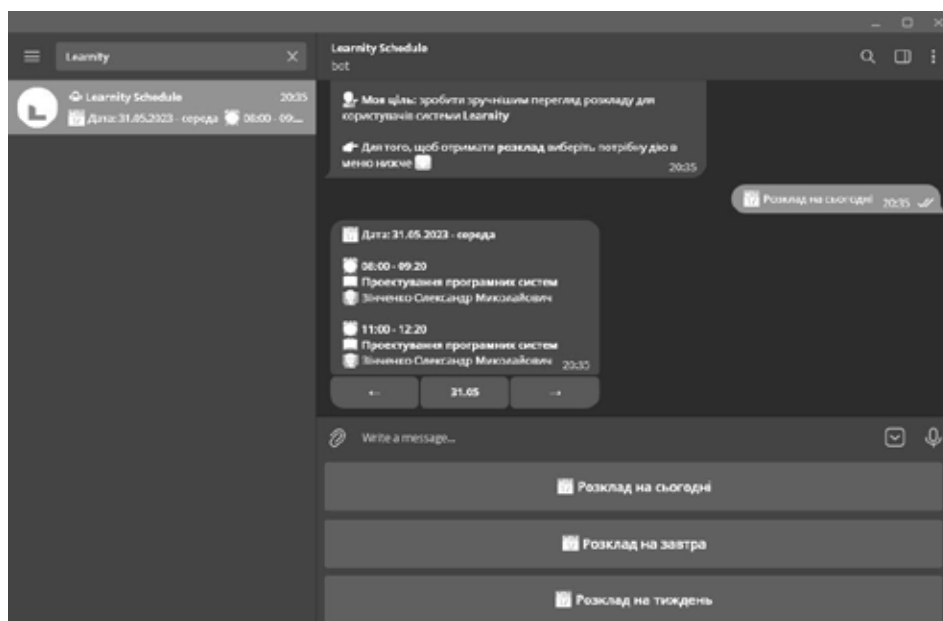


Рис. 6. Повідомлення з розкладом на сьогодні

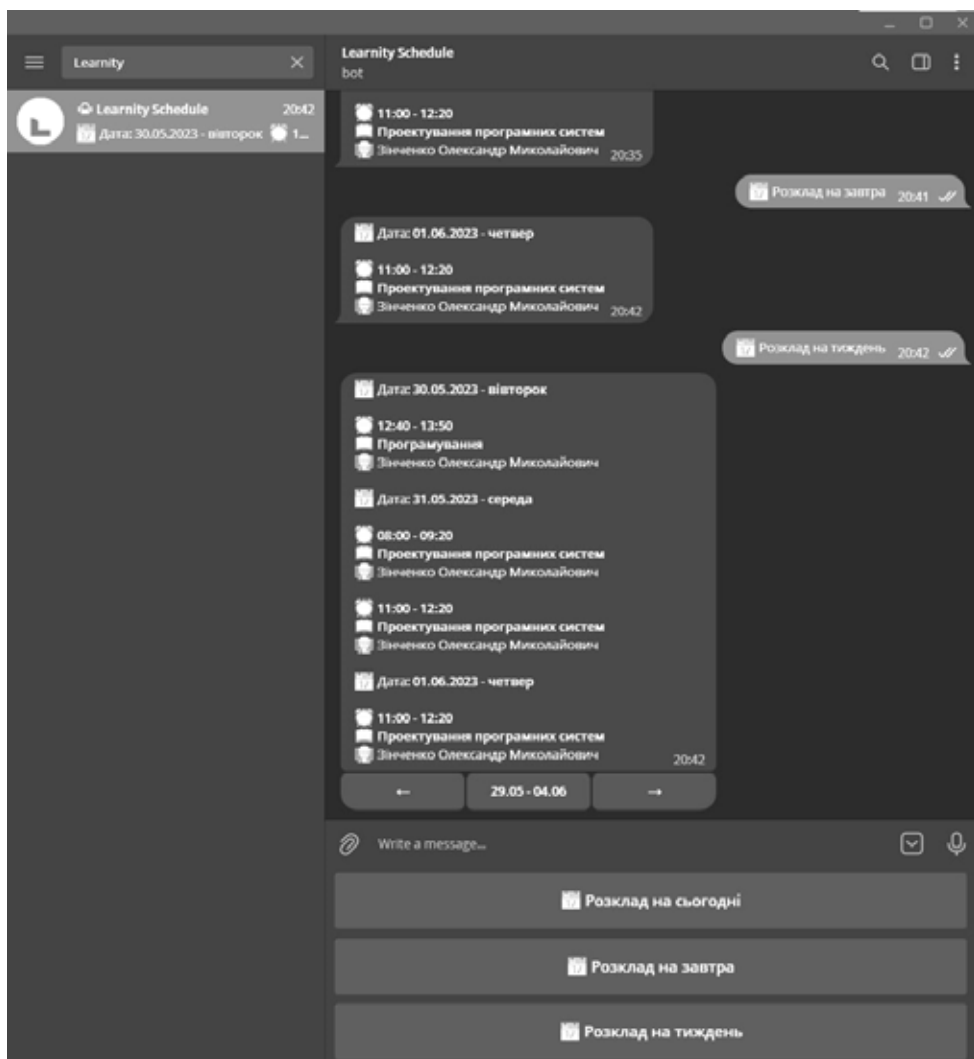


Рис. 7. Повідомлення про розклад на завтра і на тиждень

5) Також в телеграм-боті присутня можливість гортати розклад, натискаючи на відповідні стрілки під останнім повідомленням. При натисканні такої стрілки в залежності від вибраного виду розкладу (тиждень для «Розклад на тиждень» та день для «Розклад на сьогодні» і «Розклад на завтра»), користувачу буде відправлено розклад на наступний або попередній день чи тиждень, а кнопки зі стрілками буде прибрано з минулого повідомлення (рис. 8). Якщо розкладу не буде знайдено на потрібну дату, то буде виведено відповідне повідомлення (рис. 9).

Отже, враховуючи теоретичні відомості та практичне застосування платформи Node.js у розробці різних веб-застосунків та сервісів, можна зробити висновок, що ця платформа є досить гнучкою та дозволяє розробляти програмне забезпечення під різні цілі: від сайтів до мобільних додатків, причому не потребуючи великих витрат на серверне обладнання для ефективної роботи.

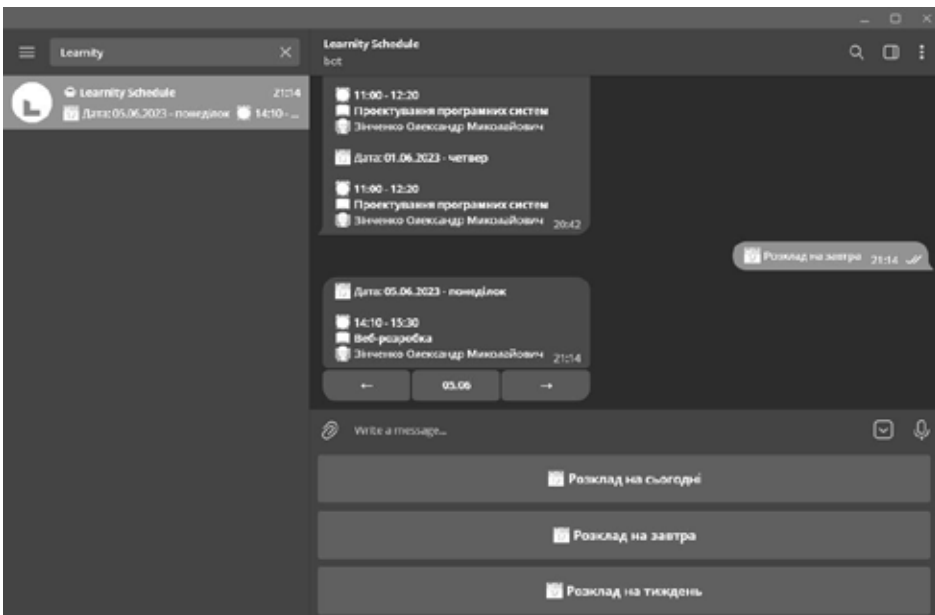


Рис. 8. Повідомлення про розклад на декілька днів вперед

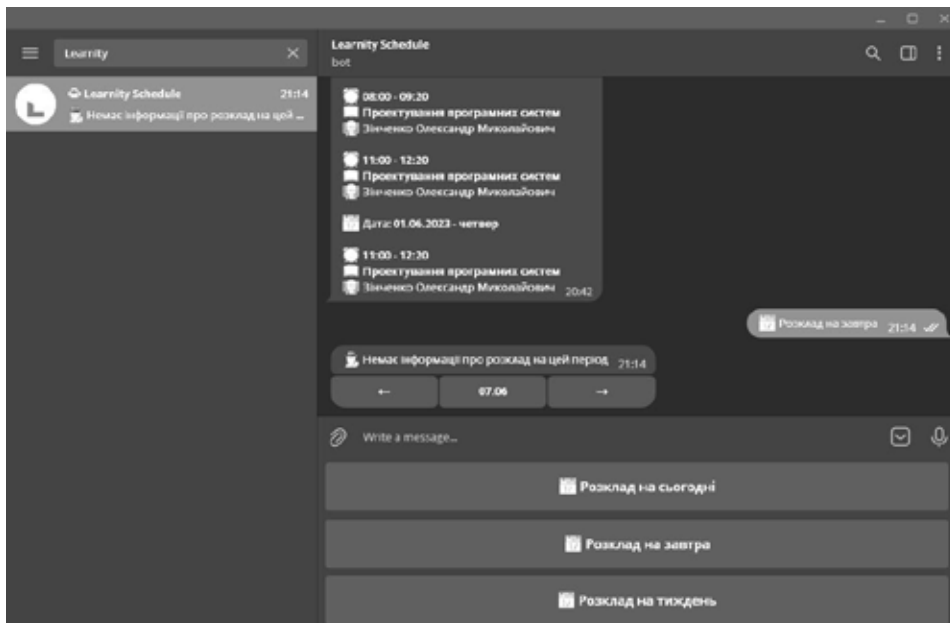


Рис. 9. Повідомлення про відсутність розкладу

**Висновки.** В наш час питання організації дистанційного навчання є досить актуальним, бо воно допомагає людині безперешкодно здобувати знання, вирішуючи проблеми: часу, доступності, місцезнаходження та комунікації. З огляду на цю актуальність і було вирішено провести детальний аналіз цієї області та скласти

список технологій та інструментів, потрібних для розробки програмного забезпечення системи дистанційного навчання, саме її частини у вигляді функціональності перегляду розкладу за допомогою телеграм-бота. Результатом проведеної роботи є розробка програмного забезпечення системи дистанційного навчання, а саме її частини у вигляді телеграм-бота для Полтавського університету економіки та торгівлі з урахуванням поставлених вимог. Проведено тестування усіх модулів та доступних можливостей програмного продукту. В перспективі планується працювати над його удосконаленням.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гайдай Г. Ю., Грешнов А. Ю. Комп'ютерна система для проведення лабораторних досліджень у дистанційному форматі (розробка серверної частини веб-додатку). *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023, (6), 10–17. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.2>
2. Слабінога М. О., Чабан С. В. Розробка веб-додатків в контексті оптимізації їх швидкодії. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (3), 63–69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7>
3. Круглик В. С., Астаф'єв В. Ю. Особливості реалізації семантичної нейронної мережі створення генератора навчальних кросвордів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2021. Випуск 2(127), С. 81–88.
4. Almahamid, S. M., Tweiqat, A. F., Almanaseer, M. S. University website quality characteristics and success: lecturers' perspective. *International Journal of Business Information Systems*, 2016, 22(1), P. 41–61.
5. About Classroom – Classroom Help. URL: <https://support.google.com/edu/classroom/answer/6020279> – Назва з екрану.
6. Moodle App Overview. URL: <https://moodledev.io/general/app/overview> – Назва з екрану.
7. What is Canvas? URL: <https://community.canvaslms.com/t5/Canvas-Basics-Guide/What-is-Canvas/ta-p/45> – Назва з екрану.
8. Node.js. URL: <https://nodejs.org/en> (дата звернення 15.04.2023).
9. Taha Sufiyan. What is Node.js: A Comprehensive Guide. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/nodejs-tutorial/what-is-nodejs> (дата звернення 15.04.2023).
10. Bonjar Basumatary, Nishant Agnihotri. Benefits and Challenges of Using NodeJS. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*. URL: <https://www.ijirest.org/DOC/13-benefits-and-challenges-of-using-nodejs.pdf> (дата звернення 16.04.2023).
11. Nadiia Shevchuk. Is Node.js Still Relevant for Startup Development in 2023? URL: <https://www.altamira.ai/blog/node-js-for-startup-development-in-2023> (дата звернення: 16.04.2023).
12. Олександр Ветошкін. Як працює Event Loop в NodeJS: внутрішня будова, фази та приклади. URL: <https://dou.ua/forums/topic/31698> (дата звернення 16.04.2023).
13. Коротун О., Вакалюк Т., Зубрицький В., Гордієнко І. Теоретичні аспекти розробки системи управління навчанням. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (1), 36–46. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.4>

### REFERENCES:

1. Haidai, H. Yu., Hrieshnov, A. Yu. (2023) Kompiuterna systema dlia provedennia laboratornykh doslidzhen u dystantsiinomu formati (rozrobka servernoi chastyny veb-dodatku) [Computer system for conducting laboratory research in a remote format (development of the server part of the web application)]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*.



- Seriia: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (6), 10–17. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.2> [in Ukrainian].
2. Slabinoha, M. O., Chaban, S. V. (2022) Rozrobka veb-dodatkov v konteksti optymizatsii yikh shvydkodii [Development of web applications in the context of optimizing their speed]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (3), 63–69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7> [in Ukrainian].
3. Kruhlyk, V. S., Astafiev, V. Yu. (2021) Osoblyvosti realizatsii semantychnoi neironnoi merezhi stvorennia heneratora navchalnykh krosvordiv [Peculiarities of implementing a semantic neural network for creating an educational crossword generator]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho [Visnyk Kremenchug National University named after Mykhailo Ostrogradskiy]*. Kremenchuk: KrNU. Vypusk 2 (127). P. 81–88 [in Ukrainian]
4. Almahamid S. M., Tweiqat A. F., Almanaseer M. S. (2016) University website quality characteristics and success: lecturers' perspective. *International Journal of Business Information Systems*, 22(1), P. 41–61 [in English].
5. About Classroom – Classroom Help. URL: <https://support.google.com/edu/classroom/answer/6020279> [in English].
6. Moodle App Overview. URL: <https://moodledev.io/general/app/overview> [in English].
7. What is Canvas? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://community.canvaslms.com/t5/Canvas-Basics-Guide/What-is-Canvas/ta-p/45> [in English].
8. Node.js. URL: <https://nodejs.org/en> (date of request: 15.04.2023) [in English]
9. Taha, Sufiyan. What is Node.js: A Comprehensive Guide. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/nodejs-tutorial/what-is-nodejs> (date of request: 15.04.2023) [in English].
10. Bonjar Basumatary, Nishant Agnihotri. Benefits and Challenges of Using NodeJS. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*. URL: <https://www.ijircst.org/DOC/13-benefits-and-challenges-of-using-nodejs.pdf> (date of request: 16.04.2023) [in English].
11. Nadiia Shevchuk. Is Node.js Still Relevant for Startup Development in 2023? URL: <https://www.altamira.ai/blog/node-js-for-startup-development-in-2023> (date of request: 16.04.2023) [in English].
12. Oleksandr Vetoshkin. Yak pratsiuie Event Loop v NodeJS: vnutrishnia budova, fazy ta pryklady [How Event Loop works in NodeJS: internal structure, phases and examples]. URL: <https://dou.ua/forums/topic/31698> (date of request: 16.04.2023) [in Ukrainian].
13. Korotun, O., Vakaliuk, T., Zubrytskyi, V., Hordiienko, I. (2022) Teoretychni aspekty rozrobky systemy upravlinnia navchanniam [Theoretical aspects of learning management system development]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (1), 36–46. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.4> [in Ukrainian].

УДК 621.328(076.5)

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.10>

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОСТУ СИЛІЦИДІВ НІКЕЛЮ ПРИ ФОРМУВАННІ ОМІЧНИХ КОНТАКТІВ ДО НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

**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

**Пекур Д. В.** – доктор філософії,  
заступник завідуючого відділу оптоелектроніки  
Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0002-4342-5717

**Шумов С. В.** – кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник відділу оптоелектроніки  
Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0002-3579-8396

Для одержання омичних контактів до структур напівпровідникових приладів зазвичай використовується нікель або алюміній. На відміну від алюмінію, нікель добре змочується припоем і дозволяє присднувати провідники пайкою, утворює з кремнієм силіциди, стабільні в широкому діапазоні температури, допускає електролітичне формування локальних контактів. Ці переваги дозволяють застосовувати простіші методи складання напівпровідникових приладів, виключити з технологічного процесу операції фотолітографії з металізації, підвищуючи таким чином ефективність виробництва приладів і знижуючи їхню собівартість. Ще однією перевагою нікелю при використанні його для формування омичних контактів є широкий спектр методів його осадження на поверхню напівпровідникової пластини: електрохімічне осадження нікелю; наплення півки нікелю в вакуумі; хімічне осадження нікелю. В той же час, практично єдиним методом осадження півки алюмінію на поверхню напівпровідникової пластини є метод термічного вакуумного наплення.

У статті розглянуті механізми утворення силіцидів нікелю в процесі формування омичного контакту до напівпровідникових приладів на основі кремнію та розроблена математична модель. Отримані результати розрахунку кінетики неізотермічного зростання півки силіциду  $Ni_3Si$  вказують на суттєве відхилення реальних умов відпалу півки нікелю від ідеального ізотермічного відпалу. При високих швидкостях завантаження-вивантаження партії пластин, еквівалентний час відпалу на декілька порядків нижчий у порівнянні з ізотермічним відпалом. При зменшенні швидкості руху касети, з пластинами і збільшенні тривалості витримки пластин в робочій зоні, процес прагне до ідеального ізотермічного процесу. Одержані результати підтверджують, що при проведенні експериментів по вивченню кінетики росту силіцидів нікелю обов'язково необхідно враховувати неізотермічні умови процесу відпалу півки нікелю.

Розроблено номограму, яка характеризує кінетику зростання силіциду нікелю  $Ni_3Si$  при  $T=673K$  в неізотермічних умовах. За допомогою такої номограми, знаючи експериментальний час відпалу півки нікелю, можна визначити еквівалентний ізотермічним умовам час відпалу. Номограма може бути використана як при проведенні експериментальних досліджень процесу відпалу нікелевої металізації, так і в умовах виробництва кремнієвих напівпровідникових приладів для корегування часу відпалу півки нікелю при формуванні нікелевих омичних контактів.

**Ключові слова:** нікель, силіцид нікелю, температура, моделювання, неізотермічні умови, відпал.

***Lytvynenko V. M., Pekur D. V., Shutov S. V. Simulation of nickel silicide growth processes during the formation of ohmic contacts to semiconductor devices***

To obtain ohmic contacts to the structures of semiconductor devices, nickel or aluminum is usually used. Unlike aluminum, nickel is well wetted by solder and allows connecting conductors by soldering, forms silicides with silicon that are stable in a wide temperature range, and allows electrolytic formation of local contacts. These advantages make it possible to apply simpler methods of assembly of semiconductor devices, to exclude metallization photolithography operations from the technological process, thus increasing the efficiency of device production and reducing their cost. Another advantage of nickel when using it to form ohmic contacts is a wide range of methods of its deposition on the surface of a semiconductor plate: electrochemical deposition of nickel; sputtering of a nickel film in a vacuum; chemical precipitation of nickel. At the same time, practically the only method of depositing an aluminum film on the surface of a semiconductor plate is the method of thermal vacuum sputtering.

The article examines the mechanisms of nickel silicide formation in the process of forming an ohmic contact to silicon-based semiconductor devices and develops a mathematical model. The obtained results of the calculation of the kinetics of the non-isothermal growth of the Ni<sub>2</sub>Si silicide film indicate a significant deviation of the real annealing conditions of the nickel film from the ideal isothermal annealing. At high loading-unloading speeds of a batch of plates, the equivalent annealing time is several orders of magnitude lower compared to isothermal annealing. When reducing the speed of movement of the cassette with plates and increasing the duration of exposure of the plates in the working area, the process tends to an ideal isothermal process. The obtained results confirm that when conducting experiments to study the growth kinetics of nickel silicides, it is necessary to take into account the non-isothermal conditions of the nickel film annealing process.

A nomogram has been developed that characterizes the growth kinetics of nickel silicide Ni<sub>2</sub>Si at T=673K in non-isothermal conditions. With the help of such a nomogram, knowing the experimental annealing time of the nickel film, it is possible to determine the annealing time equivalent to isothermal conditions. The nomogram can be used both during experimental studies of the annealing process of nickel metallization, and in the conditions of production of silicon semiconductor devices to adjust the annealing time of the nickel film during the formation of nickel ohmic contacts.

**Key words:** nickel, nickel silicide, temperature, modeling, non-isothermal conditions, annealing.

**Постановка проблеми.** Відомо, що процес відпалу нікелевої металізації при формуванні нікелевих омичних контактів до діодних структур при деяких умовах може суттєво впливати на зворотні характеристики діодів, зменшуючи їх вихід [1; 2]. Тому особливості процесів формування силіцидів нікелю, які утворюються на поверхні p-n структур при відпалі півки нікелю, являються додатковими факторами у в'ясненні причин деградації зворотних характеристик приладів.

Кінетиці зростання силіцидів нікелю присвячена велика кількість наукових робіт [3–5]. В той же час, в літературі відсутні відомості про кінетику зростання силіцидів нікелю в неізотермічних умовах, які близькі реальним умовам технології виробництва напівпровідникових приладів. Тому проблема проведення процесів відпалу нікелевої металізації в реальних умовах виробництва залишається актуальною.

**Формулювання мети дослідження.** Метою даної роботи є розробка математичної моделі росту силіциду нікелю в неізотермічних умовах при формуванні омичних контактів.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Після осадження півки нікелю на поверхню кремнієвої пластини необхідно провести відпал півки нікелю, метою якого є покращення адгезії півки до поверхні кремнію та зниження опору контакту. В процесі термічного відпалу кремнієвих пластин з наносеною півкою нікелю утворюються силіциди [6]. У загальному випадку спостерігаються послідовні стадії зростання трьох фаз: Ni<sub>2</sub>Si, NiSi і NiSi<sub>2</sub>.

У температурному діапазоні 473–623 К утворюється тільки силіцид збагачений нікелем (Ni<sub>2</sub>Si) [7]. При відпалі в діапазоні температур 623–1023 К кінцевою

рівноважною фазою є силіцид NiSi. Нарешті, процес відпалу системи Ni – Si при температурі 1023–1263 K завершується утворенням дисиліциду нікелю – NiSi<sub>2</sub>.

Швидкість зростання силіцидів NiSi і NiSi<sub>2</sub>, які утворюються при температурах > 873K і вище, настільки велика, що при використанні для відпалу стандартних дифузійних печей практично неможливо досліджувати кінетику зростання силіцидів. Час завершення утворення силіцидів в цьому випадку менше 1 хвилини для субмікронної товщини початкової плівки нікелю. Тому будемо розглядати особливості зростання в неізотермічних умовах силіциду Ni<sub>2</sub>Si, час формування якого значно перевищує час формування силіцидів NiSi і NiSi<sub>2</sub>.

У реальних умовах для відпалу плівок нікелю використовують стандартні термічні печі з відкритими кварцовими трубами. У таких печах відстань від краю труби до робочої зони із заданою температурою досягає 1 метра. Для виключення термічного удару, кремнієві пластини завантажують в піч на протязі 2–3 хвилин.

У діапазоні температур 473–1023 K істотно понижена роль інфрачервоного нагріву завантажених в робочу зону печі пластин. Нагрів визначається в основному перенесенням тепла від стінок кварцової труби до пластин за допомогою газового середовища. Оскільки кремнієві пластини рухаються в робочу зону достатньо швидко, а кварцова касета і пластини мають досить велику теплоємність, то після їх завантаження температура в робочій зоні печі знижується. Перепад температур залежить від початкової температури робочої зони печі, кількості завантажених пластин і при низьких температурах може досягати 323–343 K. З моменту початку завантаження процес нагріву пластин проходить дві основні стадії:

- а) перша стадія швидкого нагріву, темп якої визначається швидкістю завантаження;
- б) друга стадія відносно повільного нагріву, темп якої визначається температурою відпалу, кількістю пластин і параметрами печі.

Це призводить до того, що при відпалі плівки нікелю тривалість перехідних теплових процесів, як правило, порівняна з тривалістю ізотермічного відпалу. У ряді випадків, особливо при високих температурах відпалу, утворення силіцидів відбувається тільки в неізотермічних умовах. Тому для правильної постановки експериментів і адекватної інтерпретації результатів, а також для обґрунтованого вибору режимів відпалу плівки нікелю необхідно розглянути процеси зростання силіцидів в неізотермічних умовах.

Найпростіше це завдання можна вирішити для випадку температури, що лінійно змінюється [8]:

$$T = T_n + \alpha t, \quad (1)$$

де  $T_n$  – початкове значення температури;  $\alpha$  – швидкість зміни температури [K/c];  $t$  – час.

Розглядатимемо силіцид збагачений металом. В цьому випадку коефіцієнт дифузії Ni в Ni<sub>2</sub>Si є функцією часу і може бути представлений у вигляді [7]:

$$D_{Ni} = D_{01} \cdot \exp[-E_{a1}/k(T_n + \alpha t)], \quad (2)$$

де  $D_{01}$  – коефіцієнт, що не залежить від температури.

Дифузійний потік вільного Ni постійний в межах плівки Ni<sub>2</sub>Si і чисельно дорівнює швидкості зміни числа атомів Ni в плівці нікелю [9]:

$$S \cdot D_{Ni} \frac{\Delta N_{Ni1}}{h_{c1}(t)} = - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{S \cdot h_{Ni}(t) \rho_{Ni}}{P_{Ni}} \right), \quad (3)$$

де  $S$  – площа плівки  $Ni_2Si$ ;  $D_{Ni1}$  – коефіцієнт дифузії атомів  $Ni$  в  $Ni_2Si$ ;  $h_{c1}(t)$  і  $h_{Ni}(t)$  – товщина плівки  $Ni_2Si$  і  $Ni$  відповідно;  $\rho_{Ni}$  – питома вага нікелю;

$P_{Ni}$  – вага одного атому нікелю ( $9,7475 \cdot 10^{-23}$  г);  $t$  – час.

Скориставшись вираженням (2) і співвідношенням (3) запишемо початкове рівняння поставленої задачі

$$h_{c1}(t) \frac{\partial h_{c1}(t)}{\partial t} = \frac{D_{01} \Delta N_{Ni1} P_{Ni} m_1}{\rho_{Ni}} e^{\frac{-E_{a1}}{k(T_n + \alpha t)}}. \quad (4)$$

Розділивши змінні і провівши інтегрування правої частини (4) від 0 до  $t$ , а ліву частину рівняння (4) від  $h_{c0}$  до  $h_{c1}$ , отримаємо

$$h_{c1}^2 = (h_{c0})^2 + \frac{2D_{01} \Delta N_{Ni1} P_{Ni} m_1}{\rho_{Ni}} \int_0^t e^{\frac{-E_{a1}}{k(T_n + \alpha t)}} dt = (h_{c0})^2 + A_0 \int_{t_n}^{t_k} e^{\frac{-E_{a1}}{k(T_n + \alpha t)}} dt, \quad (5)$$

де  $h_{c0}$  – товщина плівки силіциду, який утворився раніше;  $A_0 = \frac{2D_{01} \Delta N_{Ni1} P_{Ni} m_1}{\rho_{Ni}}$ ;  $t_n$  – нижня межа інтегрування;  $t_k$  – верхня межа інтегрування.

Зробимо позначення  $y = \frac{E_{a1}}{k(T_n + \alpha t)}$ , тоді  $t = \frac{1}{\alpha} (E_{a1} / ky - T_n)$ ,  
 $dt = -(E_{a1} / \alpha k)(dy / y^2)$ .

Використовуючи ці підстановки можна перетворити вираження (5) до виду

$$h_{c1}^2 = (h_{c0})^2 - \frac{2D_{01} \Delta N_{Ni1} P_{Ni} m_1 E_{a1}}{\rho_{Ni} \cdot \alpha \cdot k} \int_{y_0}^y \frac{e^{-y}}{y^2} dy. \quad (6)$$

Інтеграл у вираженні (6) в явному виді не береться, проте після інтегрування по частинах, зводиться до стандартного табличного інтегралу: інтегральній показовій функції

$$h_{c1}^2 = (h_{c0})^2 + \frac{2D_{01} \Delta N_{Ni1} P_{Ni} m_1 E_{a1}}{\rho_{Ni} \cdot \alpha \cdot k} [e^{-y_0} / y_0 - e^{-y} / y + E_i(y_0 e^{iy}) - E_i(y e^{iy})], \quad (7)$$

де  $E_i(y_0 e^{iy})$ ,  $E_i(y e^{iy})$  – інтегральні показові функції;  $y = \frac{E_{a1}}{k(T_n + \alpha t)}$ ;  $y_0 = \frac{E_{a1}}{kT_n}$ .

Для визначення поправок до реальної технології відпалу плівки нікелю було проведено вимірювання стаціонарного розподілу температури уздовж кварцової труби печі СДО125/3-15 (рис. 1) і кінетику зміни температури кремнієвих пластин при завантаженні партії пластин діаметром 60 мм у кількості 20 шт. в робочу зону печі. Для визначення кінетики нагріву партії пластин була використана Pt – PtRo термопара марки ПП-1 без кварцового чохла. Встановлюючи різну температуру робочої зони печі, різні швидкості руху касети з пластинами і різні витрати аргону було проведено вимірювання зміни температури пластин.

На рис. 2 приведені результати проведених експериментів при температурі робочої зони 673 К. Видно, що до встановлення рівноважної температури кремнієвих пластин є два проміжки часу з різними швидкостями зростання температури: зі швидким і повільним зростанням. В межах кожного з проміжків кінетичні залежності можна апроксимувати прямою лінією, тобто постійною величиною коефіцієнта  $\alpha$ .

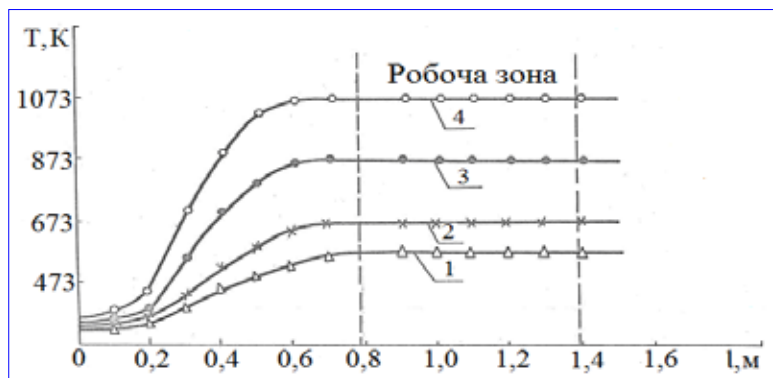


Рис. 1. Стаціонарний розподіл температури в кварцовій трубі печі СДО 125/3-15 при різних температурах робочої зони –  $T$ , К: 1 – 573; 2 – 673; 3 – 873; 4 – 1073

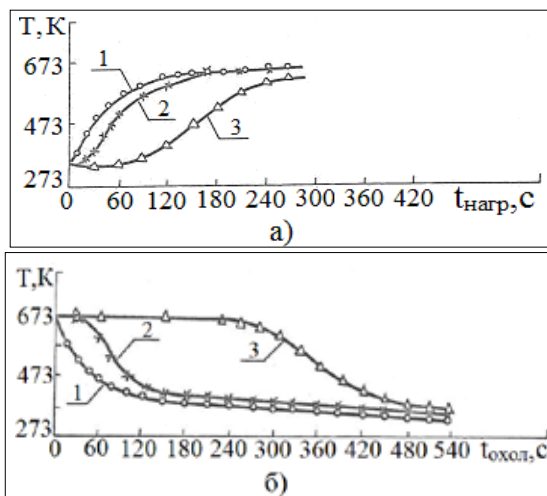


Рис. 2. Кінетика нагрівання (а) і охолодження (б) партії кремнієвих пластин (20шт) при температурі робочої зони печі 673 К, витраті аргону 300 л/ч і при різних швидкостях завантаження (а) і вивантаження (б) –  $V_{зв}$ , м/с: 1 –  $2,18 \cdot 10^{-1}$ ; 2 –  $1,82 \cdot 10^{-2}$ ; 3 –  $2,60 \cdot 10^{-3}$

Результати, приведені на рис. 2 підтверджують, що кінетика процесів нагрівання і охолодження пластин залежить від швидкості завантаження-вивантаження пластин, а сам процес є неізотермічним.

На рис. 3 приведені розрахункові залежності товщини зростаючого силіциду нікелю від сумарного часу витримки в робочій зоні печі при багаторазових

відпалах з однаковою тривалістю кожного відпалу. Штрихова лінія відноситься до ідеального випадку ізотермічного зростання силіциду нікелю.

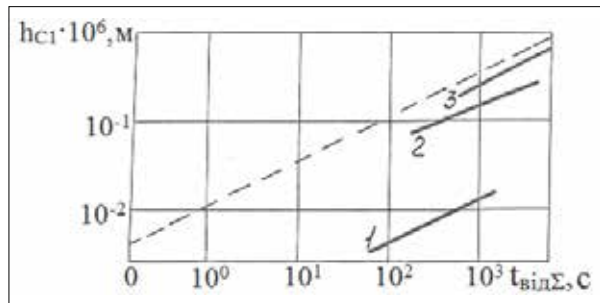


Рис. 3. Кінетика росту силіциду нікелю в процесі багаторазових відпалів в печі з температурою робочої зони 673 K при тривалості кожного відпалу –  $t_{\text{від}}$ , с: 1 – 60, 2 – 180, 3 – 600. Штрихова лінія – ізотермічний процес

Розрахунок кінетики ізотермічного зростання силіциду нікелю проводили за формулою (7) за допомогою ЕОМ з використанням програмного забезпечення Mathcad. Швидкість руху касети складала  $7,33 \cdot 10^{-2}$  м/с. При тривалості одноразового відпалу 60 секунд результуюча швидкість зростання силіциду виявляється в 30 разів нижчою, ніж для ідеального ізотермічного відпалу. При тривалості кожної витримки в робочій зоні печі 180 секунд, відмінність швидкостей знижується до 3 разів. Нарешті, при тривалості відпалу 600 секунд, відмінність швидкостей знижується, приблизно, до 30 %.

На рис. 4 приведена розрахована номограма, що характеризує кінетику зростання силіциду нікелю в неізотермічних умовах, коли використовується набір зростаючої тривалості відпалу плівки нікелю.

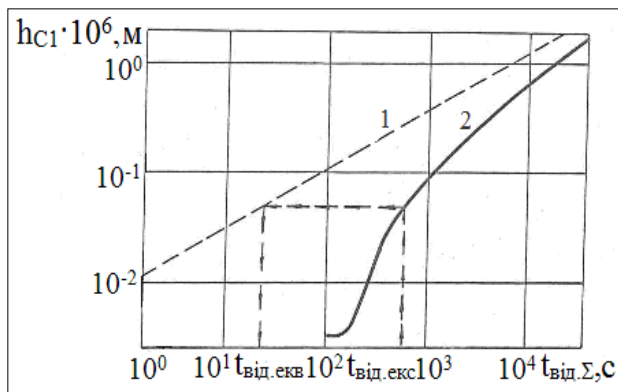


Рис. 4. Номограма для визначення еквівалентного ізотермічним умовам часу відпалу плівки нікелю ( $t_{\text{від.екв}}$ ) за кінетикою росту силіциду нікелю ( $\text{Ni}_2\text{Si}$ ) в процесі багаторазових відпалів пластин в печі з температурою робочої зони 673 K: 1 – штрихова лінія, що відповідає ізотермічним умовам зростання силіциду нікелю; 2 – експериментальна крива. Послідовність тривалості відпалів наступна –  $t_{\text{від}}$ , с: 60; 60; 120; 120; 180; 180; 240; 240; 300; 300; 600; 600;  $1,8 \cdot 10^3$ ;  $1,8 \cdot 10^3$ ;  $5,4 \cdot 10^3$

За допомогою такої номограми можна визначити еквівалентний ізотермічним умовам час відпалу плівки нікелю ( $t_{\text{від.екв}}$ ), причому послідовність виконання цього завдання вказують стрілки на рис. 4. На осі  $t_{\text{від}\Sigma}$  задають час відпалу, що відповідає експериментальному часу відпалу ( $t_{\text{від.екс}}$ ), з цієї точки проводять перпендикуляр до перетину з кривою 2, з точки перетину паралельно осі  $t_{\text{від}\Sigma}$  проводять пряму до перетину з штриховою лінією 1, з точки перетину опускають перпендикуляр на вісь  $t_{\text{від}\Sigma}$ , точка перетину і буде відповідати еквівалентному часу відпалу ( $t_{\text{від.екв}}$ ), що відповідає ізотермічним умовам відпалу.

Одержана номограма може бути використана для обґрунтування вибору режимів відпалу нікелевої металізації в процесі формування омичних контактів у виробництві напівпровідникових приладів на основі кремнію, а також при дослідженнях впливу процесів формування плівок силіцидів нікелю на зворотні характеристики діодів.

**Висновки.** Побудована математична модель росту силіцидів нікелю в неізотермічних умовах, яка адекватно відображає кінетику зростання силіцидів нікелю у відповідних температурних режимах. Показано, що в умовах реального виробництва зростання силіцидів нікелю завжди відбувається в неізотермічних умовах.

Проведені розрахунки кінетики неізотермічного зростання силіциду нікелю ( $\text{Ni}_2\text{Si}$ ) в процесі одноразового та багаторазових циклів відпалу для температури робочої зони печі 673K при різних параметрах процесу відпалу показали суттєве відхилення реальних умов відпалу плівки нікелю від ідеального ізотермічного зростання силіциду нікелю.

Отримані експериментальні результати дали можливість розробити номограму, яка може бути використана у виробництві напівпровідникових приладів для відпрацювання часу відпалу нікелевої металізації, а також при проведенні експериментальних досліджень процесу зростання плівки силіциду  $\text{Ni}_2\text{Si}$ .

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.
2. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів. Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2018. 184 с.
3. Zien C.D., Nicolet M.-A., Zau S.S. Low temperature formation of  $\text{NiSi}_2$  from evaporated silicon. *Phys. Stat. Sol.* 1984. V. 81. № 1. P. 123–128.
4. Tung R.T., Gibson I.M., Poate I.M. Formation of ultrathin single – crystal silicide films on Si: surface and interfacial stabilization of Si –  $\text{NiSi}_2$  epitaxial structures. *Appl. Rew. Lett.* 1983. V. 50. № 6. P. 429–432.
5. Cros A., Pollak R.A., Tu K.N. Roomtemperature oxidation of Ni, Pd and Pt silicides. *J. Appl. Phys.* 1985. V. 57. № 6. P. 2253–2257.
6. Murarka S.P. Silicides for VLSI Applications. Academic Press. 1983. 200 p.
7. Gambino J.P., Colgan E.G. Silicides and ohmic contacts. *Mater. Chem. Phys.* 1998. V. 52. P. 99–146.
8. Megben E.R. Study of the growth kinetics of  $\text{Ni}_2\text{Si}$  using a sheet resistance method. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1981. V.14. № 5. P. 871–876.
9. Olowalofe I. O., Nicolet M.A., Mayer I.W. Influence of nature of the Si substrate on nickel silicide formed from thin Ni films. *Thin Solid Films.* 1976. V. 38. P. 143–150.

#### REFERENCES:

1. Ravi K.V. (1981) Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons. New York, 379 p.



2. Litvinenko V.M. (2018) *Fizyka ta tekhnolohiya napivprovodnykovykh diodiv* [Physics and Technology of Semiconductor Diodes]. Kherson. Vyshemirsky V.S., 184 p. [in Ukrainian].
  3. Zien C.D., Nicolet M.-A., Zau S.S. (1984) Low temperature formation of NiSi<sub>2</sub> from evaporated silicon. *Phys. Stat. So.*, 81(1), 123–128.
  4. Tung R.T., Gibson I.M., Poate I.M. (1983) Formation of ultrathin single – crystal silicide films on Si: surface and interfacial stabilization of Si – NiSi<sub>2</sub> epitaxial structures. *Appl. Rew.*, 50(6), 429–432.
  5. Cros A., Pollak R.A., Tu K.N. (1985) Roomtemperature oxidation of Ni, Pd and Pt silicides. *J. Appl. Phys.*, 57(6), 2253–2257.
  6. Murarka S.P. (1983) *Silicides for VLSI Applications*. Academic Press, 200 p.
  7. Gambino J.P., Colgan E.G. (1998) Silicides and ohmic contacts. *Mater. Chem. Phys.*, 52, 99–146.
  8. Megben E.R. (1981) Study of the growth kinetics of Ni<sub>2</sub>Si using a sheet resistance method. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 14(5), 871–876.
  9. Olowalofe I. O., Nicolet M.A., Mayer I.W. (1976) Influence of nature of the Si substrate on nickel silicide formed from thin Ni films. *Thin Solid Films*, 38, 143–150.
-

UDC 658.51:517.977.5

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.11>

## INCREASING THE EFFICIENCY OF IT PROJECT MANAGEMENT WITH THE APPLICATION COMPLEX METHODOLOGY DISTRIBUTION OF PERFORMERS FOR WORK

**Nechvoloda L. V.** – Ph.D.,

Associate Professor at the Department of Intelligent Systems of Decision Making  
Donbas State Engineering Academy

ORCID ID: 0000-0002-7584-6735

Researcher ID: HPB-8625-2023

**Shevchenko N. Yu.** – Ph.D. in Economics,

Associate Professor at the Department of Digital Technologies  
and Project-Analytical Solutions

Metinvest Polytechnic Technical University LLC

ORCID ID: 0000-0002-3085-7107

Researcher ID: IRZ-2827-2023

*Project management is the application of knowledge, skills, tools and methods of project performance analysis to meet their key needs. Such project management is based on a systematic approach implemented by the project team. In the IT sphere, the project has signs of temporality and uniqueness. The project is temporary, because it has a defined beginning and limitations on the time of implementation, which determine its scope and resources. The project is unique because it is a certain set of operations designed to achieve a singular goal. Therefore, the project team should include people who will ensure the optimal execution of the specified operations in terms of time and financial resources, focusing on achieving the business goal of the project.*

*The article considers the main factors of IT project team formation, including the compliance of the employee's knowledge with the requirements of the task, the employee's workload for a certain period of time, the time and cost of completing a certain task. Mathematical methods and models that allow effective selection of alternatives in decision-making were considered. In particular, among such methods, the multi-criteria task of appointing potential members of the development team based on the expert method of assessing professional skills was considered. The specificity of this methodology involves comparing employees of the same or similar professions among themselves. The comparison is made according to one or several parameters of the evaluation of employees' competencies. These parameters are chosen depending on the specific content of the task that the employee must perform, since different types of work make different, and sometimes diametrically opposed, demands on the performers. The practical value of such a method lies in providing managers with the possibility of a simplified project management process, when the allocation of executors to work is considered as a multi-criteria assignment task, which can be expanded due to the formation of a calendar plan of tasks and redistribution of workload. The project calendar reflects the main obligations regarding the content, terms and main stages of project implementation and becomes mandatory after signing contracts with customers*

**Key words:** IT project management, multi-criteria optimization, assignment task, software development, team, calendar plan.

**Нечволода Л. В., Шевченко Н. Ю. Підвищення ефективності управління ІТ-проектами із застосуванням комплексної методики розподілу виконавців на роботі**

*Управління проектами – це застосування знань, навичок, інструментів та методів аналізу виконання проєктів для задоволення їх ключових потреб р. Таке управління проєктом базується на системному підході, який реалізує команда проєкту. В ІТ-сфері проєкт має ознаки тимчасовості та унікальності. Проєкт тимчасовий, бо має визначений початок і обмеження за часом реалізації, що визначають його обсяг та ресурси. Проєкт унікальний, бо являє собою певний набір операцій, призначених для досягнення сингулярної мети. Тому команда проєкту повинна включати людей, які забезпечать оптимальне виконання зазначених операцій з точки зору часу та фінансових коштів з фокусуванням на досягнення бізнес-мети проєкту.*

*В статті розглядаються основні фактори формування команди IT-проєкту, включаючи відповідність знань працівника вимогам завдання, завантаженість робітника за визначений період часу, час та вартість виконання певного завдання. Були розглянуті математичні методи та моделі, що дозволяють здійснювати ефективний вибір альтернатив у прийнятті рішень. Зокрема серед таких методів було розглянуто багатокритеріальну задачу про призначення на базі експертного метода оцінювання професійних навичок потенційних членів команди розробників. Специфіка даної методики передбачає порівняння працівників однієї або схожих за змістом професій між собою. Порівняння проводиться по одному або декільком параметрам оцінки компетенцій працівників. Ці параметри обираються в залежності від конкретного змісту завдання, яке працівник повинен виконати, оскільки різні види робіт висувають різні, а іноді – діаметрально протилежні вимоги до виконавців. Практична цінність такої методики полягає у наданні менеджерам можливості спрощеного процесу управління проєктом, коли розподіл виконавців на роботи розглядається як багатокритеріальна задача призначення, що може бути розширена за рахунок формування календарного плану завдань та перерозподілу робочого навантаження. Календарний план проєкту відображає основні зобов'язання щодо змісту, строків та основних етапів реалізації проєкту та стає обов'язковим після підписання контрактів з замовниками.*

**Ключові слова:** управління IT-проєктами, багатокритеріальна оптимізація, задача про призначення, розробка програмного забезпечення, команда, календарний план.

**Introduction.** The competitiveness of any IT company is directly proportional to the effectiveness of project management that it implements. Therefore, the increase in the complexity of projects, the increase in requirements for the terms of their implementation, the quality of work, technical and technological complexity make it necessary to find new methods of effective project management [1]. The project team is the driving force of the project, and therefore needs special attention when defining the project management strategy. . The correct assignment of team members to perform certain tasks will contribute to increasing not only labor productivity, but also the loyalty of team members, their interest in achieving the value of the developed product [2].

The Ukrainian market of information technologies offers a large number of software products for solving urgent personnel management problems and assigning employees to tasks. However, in these software products, the assignment is usually fixed “manually” by managers who are guided by professional experience and logic. Automating the appointment process will speed up the duration of this stage and significantly reduce the costs of forming teams, and reduce the likelihood of incorrect selection.

**Analysis of recent research and publications.** In general, the following mathematical methods and models can be used to solve labor resource allocation problems:

- linear optimization models;
- methods of dynamic programming;
- methods of network programming;
- methods are based on transport networks;
- methods of dichotomous programming;
- heuristic methods;
- methods of solving the multi-criteria assignment problem [3].

To date, the works of famous foreign and domestic scientists, such as A. Marshall, M. Porter, A. Voronin, O. I. Zamora, E. P. Kachan, A. Pastukh, V. A. are devoted to the problem of effective use of labor resources. Romanynshin, V. V. Travin, V. M. Geetsya, M. I. Dolishniy, V. V. Onikiyenko, L. I. Abalkin, N. A. Gorelov, T. I. Zaslavska, A. P. Kochetkov, D. Bella, V. L. Inozemtseva, E. Toffler.

The task of assigning performers, which takes into account professional, personal, socio-communicative and other criteria, is called a multi-criteria assignment task (MCAT) from a mathematical point of view. The scientific article by S. V. Levin [4] describes the method of solving the assignment problem with an arbitrary number

of linear criteria. The approach consists in solving single-criteria assignment problems in the form of linear programming problems separately for each criterion and then obtaining a compromise solution that deviates minimally from private solutions. The criteria are assumed to be of equal importance.

In the work of O. E. Skvorchevsky [5] presents the analysis of methods for solving assignment problems with several optimality criteria using the method of sequential optimization for each of the criteria with the subsequent introduction of economically justified concessions for the extreme values of each of the objective functions.

In the model of V. A. Lotov and I. I. Pospelova [6], the solution of the MCAT is proposed using methods of fuzzy logic, namely, using fuzzy binary relations. Compositions of the original fuzzy relations are used to determine the suitability of candidates for assignment.

Therefore, much attention is paid to the problem of MCAT and approaches to its solution in the scientific literature. However, the issue of using these approaches to managing IT teams still requires methodological development and modification to the specifics of the industry.

**The aim of research.** The purpose of the study is to develop a methodology for forming the composition of the IT team as an element of the management strategy to increase the effectiveness of the implementation of the IT project.

**Methods, subject and object of research.** The object of research is the IT project management process.

The subject of research is methods and models of project team formation.

**Proposed mathematical model.** From a mathematical point of view, the task of forming the composition of the IT team will be presented as a multi-criteria assignment task. The task consists in the distribution of different subjects by different objects, taking into account the characteristics (indicators) of the subject, which must meet the requirements of the objects to a certain extent [7].

In our case, the object is a project, depending on the type, the composition of the team is formed according to a different template.

A team template is a team construct that consists of a list of roles and role requirements:

$$P(i) = p1, p2, \dots, pn, \quad (1)$$

where  $P(i)$  – an array of requirements for the  $i$ -th role;

$p1, p2, \dots, pn$  – a requirement for a candidate for role.

After determining the team template, the process of selecting candidates for each role begins:

- 1) selection of potential team members;
- 2) checking for overloading of a team member by other projects;
- 3) calculation of criteria according to knowledge;
- 4) determination of the final coefficient of conformity to the role.

A task is a complex set of activities aimed at achieving a business goal. Depending on the size of the project, the team may consist of different numbers of participants.

For the performance of each task there are certain requirements for knowledge that can be submitted in the form of some data array:

$$Q(j) = q1, q2, \dots, qn, \quad (2)$$

where  $Q(j)$  – the array of the  $j$ -th task;

$q1, q2, \dots, qn$  – criterion by a defined skill.

A similar array with criteria for the task is formed for a set of knowledge assessments of each team member:

$$K(i) = q_1, q_2, \dots, q_n, \quad (3)$$

where  $K(i)$  – the array of  $i$ -th skill scores team member,  
 $k_1, k_2, \dots, k_n$  – the assessment of a defined skill.

To evaluate the knowledge requirements, it is suggested to use the method of expert evaluations [8] on a scale from 1 to 10 (where 10 is the greatest difficulty in the task). Each team member is tested to assess their skills.

Selection of participants is done sequentially for each role in the team. The algorithm includes 6 stages:

- formation of a calendar plan;
- selection of potential team members;
- overload check;
- calculation of criteria according to knowledge;
- forming the economic feasibility of involving a participant;
- calculation of the final coefficient.

Project and technological documents that establish a complete list of project works, their interrelationship, sequence and deadlines, duration requirements, as well as resources necessary for the implementation of works are called calendar plans. Calendar plans are drawn up for the entire life cycle of the project and separately for its stages, for different levels of management and project participants [9].

Stages of calendar planning:

- drawing up a structural decomposition of works (SDW);
- determination of the list of project tasks based on SDW;
- determining the sequence of works and their interrelationships using organizational and technological models;
- clarification of time limits;
- determining the duration of works;
- optimization of the project work schedule with time criteria;
- approval of calendar plans.

The determination of the early start of work is carried out according to the formula:

$$D_i = D_{i-1} + t_{i-1}, \quad (4)$$

where  $D_i$  – early start of work;

$D_{i-1}$  – early start of the task preceding  $D_i$ ;

$t_{i-1}$  – the duration of the task  $D_i$ .

If the task has several predecessors, the following formula is used:

$$D_i = \text{Max}(D + t), \quad (5)$$

where  $D+t$  – the set of the early start and duration sums of the tasks preceding the given one.

In the next step, the time reserve is calculated, which appears when several tasks are performed in parallel:

$$T_i = D_i - D_{i+1} + t_i, \quad (6)$$

where  $T_i$  – time reserve for the  $i$ -th task;

$D_i$  – early start of execution for the  $i$ -th task;

$D_{i+1}$  – early start of execution for the  $i+1$  task;

$t_i$  – execution time for the  $i$ -th task [10].

At the stage of selecting potential team members, a pairwise comparison of task requirements and skill ratings of each participant is performed:

$$e_j = \begin{cases} 0, & \text{if } q_j > k_j, \\ 1, & \text{in other cases,} \end{cases} \quad (7)$$

where  $e_j$  – the result of comparing the requirements of the task and the skills of  $p$  team members according to the  $j$ -th criterion.

If all  $e_j$  are equal to 1, then the participant is admitted to the stage of involvement in the team.

The stage of checking the employment of a potential participant involves calendar planning (Table 1).

Table 1

Calendar plan

Date	Team member			
	w1	w2	...	wk
d1	e11	e12	...	e1k
d2	e21	e22	...	e2k
...	...	...	...	...
dl	el1	el2	...	elk

The table shows:

- set  $W = (w1, w2, \dots, wk)$  – set of participants,  $k$  – number of participants;
- set  $D = (d1, d2, \dots, dl)$  – a time interval of  $l$  days;
- $elk$  – employment of the  $k$ -th participant on the  $dl$ -th day.

If the potential member of the team does not have a task-free interval of sufficient length, then he is not included in the team.

To calculate the criteria for matching the potential participant's knowledge to the requirements of the task, it is advisable to use metrics from the theory of measurements [8; 10].

The metric makes it possible to compare how close the potential participant's knowledge is to the requirements of the task.

The metric in the space  $R^n$  of the vectors  $Q = (q1, q2, \dots, qn)$  and  $K = (k1, k2, \dots, kn)$  is calculated according to the following formula:

$$d(k, q) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k(j) - q(j))^2}. \quad (8)$$

At the stage of formation of the economic feasibility of involvement, criterion G is calculated – the workload criterion of a potential team member. The criterion determines

how much a potential participant was loaded during a certain period of time (for example, during a week):

$$G[i] = (F + E + A) / P, \quad (9)$$

where  $P$  – Is the number of scheduled hours for the selected time period;

$F$  – the actual number of hours worked;

$E$  – the number of hours missed due to illness;

$A$  – the number of hours missed due to the fact that the participant's registration has passed after the start of a certain period of time.

The final coefficient of "inclusion" of a potential participant in the project team is calculated according to the formula:

$$N[i] = R[i] + \frac{1}{G[i]}, \quad (10)$$

where  $N[i]$  – the final coefficient.

Participants with the lowest final coefficient are selected for project implementation.

Based on the described methodology, an informational one was created using the Laravel framework and the PHP language (Fig. 1). In order to view information about the worker, you need to click on the line with the worker's name on the main page (Fig. 2).

Проект: Створення поштового сервісу	
Клієнт: Васильчук Діана Сергіївна	
Тел: Мобільні	
Стек технологій	
PHP	Ланцюк
JS	MySQL
Docker	Nginx
Postman	Figma
Adobe Photoshop	
Команда розробки	
Назва посади	Робітник
Team lead	Віталій Панащенко Миколайович
Manager	Лариса Павлюк Борисівна
Backend developer	Геннадій Миколайович Микитюк
Backend developer	Андрій Асташенко Якович
Frontend developer	Ганна Покорнак Вікторівна
QA	Володимир Романченко Сергійович
Designer	Галена Шкваренко Іванівна
Business analyst	Тетяна Сергій Андрійович
Завдання проекту	
Назва завдання	Виконавець
Створення основи для поштового сервісу	Андрій Асташенко Якович
Інтеграція з поштовими аліансами	Геннадій Миколайович Микитюк

Fig. 1. The task detail view page

Робітник: Геннадій Миколайович Микитюк  
 Позиція: Junior developer  
 Стек технологій

Назва технології	Оцінка
PHP	7
JS	6
Laravel	7
WordPress	8
Docker	5
ZohoCRM	6
Postman	7
GoLang	5
OneDrive	6

Проекти до яких залучений

Назва проекту	Позиція
Створення поштової скриньки	Back-end developer
Розробка модулю інтеграції між CloudTalk та ZohoCRM	Back-end developer
Розробка модулю інтеграції між CloudTalk та ZohoCRM	Team Lead

Fig. 2. Detailed information about the worker

**Conclusions.** The proposed complex method of forming the composition of the IT project team is based on the solution of the multi-criteria assignment problem using metrics, calendar planning and calculating the workload of workers. Two templates of team formation were proposed: for the project and for the task within the project. The difference is that when forming a development team for a project, an analysis of the company's employees is performed, and for a task – among members of the project team. The critical path method was chosen to form the calendar plan, which consists in calculating the early start of work, late start of work and determining the time reserve for each task. The selection of the composition of the development team is based on an assessment of the knowledge and workload of potential team members. Such a comprehensive approach allows to reduce the time of formation of the project team and eliminates the risk of wrong assignment.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Mark A. Langley Success in Disruptive Times. Pulse of the profession, Project Management Institute, 2018. 36 p.
2. Дяків О.П., Островерхов В.М. Управління персоналом : навчально-методичний посібник. Тернопіль : ТНЕУ, 2018. 288 с.
3. Ус С. А., Коряшкіна Л.С. Моделі й методи прийняття рішень. Дніпропетровськ : НГУ, 2014. 300 с.
4. Левин С.В., Петрик А.А. Теоретико-игровой подход к решению многокритериальной задачи о назначениях. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии* : сб. науч. тр. М-во образования и науки, молодежи и спорта Украины, Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т» . Харьков, 2011. Вып. 50. С. 103 –110.
5. Скворчевський О.Є. Багатокритеріальна оптимізація процесів підбору та розміщення персоналу на підприємстві. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2016. № 47 (1219). С. 41–45.
6. Лотов А. В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учеб. пособие. Москва : МАКС Пресс, 2008. 197 с.



7. Бартіш М. Я., Дудзяний І. М. Дослідження операцій. Частина 1. Лінійні моделі : підручник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 168 с.
8. Грабовецький Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с.
9. Єгорченков О. В., Єгорченкова Н.Ю., Катаєва Є.Ю. Азбука управління проектами. Планування : навч. посіб. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2017. 117 с.
10. Математичні методи дослідження операцій: підручник / Є. А. Лавров та ін. Суми : Сумський державний університет, 2017. 212 с.

#### REFERENCES:

1. Mark A. Langley (2018) Success in Disruptive Times. Pulse of the profession. Project Management Institute.
2. Djakiv O.P., Ostroverkhov V.M. (2018) *Upravlinnja personalom: navchaljno-metodychnyj posibnyk* [Personnel management: training manual]. Ternopil: TNUE. [in Ukrainian].
3. Us S. A., Korjashkina L.S. (2014) *Modeli j metody pryjnattja rishenj* [Decision-making models and methods]. Dnipropetrovsk: NTU [in Ukrainian].
4. Levin S.V., Petrik A.A. (2011) Teoretiko-igrovoj podhod k resheniju mnogokriterial'noj zadachi o naznachenijah [Game-theoretic approach to solving the multicriteria assignment problem]. Proceedings of the *Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirrovannye tehnologii (Ukraine: Kharkiv)*, Kharkiv: National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", pp. 103–110.
5. Ckvorchevsjkyj O. Je. (2019) Baghatokryterialjna optymizacija procesiv pidboru ta rozmishhennja personalu na pidpryjemstvi [Multi-criteria optimization of personnel selection and placement processes at the enterprise]. *NTU "KhPI" Bulletin*, no. 47 (1219), pp. 41–45.
6. Lotov A. V., Pospelova I.I. (2008) *Mnogokriterial'nye zadachi prinyatiya resheniy: uchebnoe posobie* [Multi-criteria decision-making problems: a tutorial]. Moscow: MAKS Press [in Russian].
7. Bartish M. Ja., Dudzjanyj I. M. (2007) *Doslidzhennja operacij. Chastyna 1. Linijni modeli: Pidruchnyk* [Follow-up of operations. Part 1. Linear models: Textbook]. Lviv: Publishing centre at Ivan Franko Lviv National University [in Ukrainian].
8. Ghrabovecjkij B. Je. (2010) *Metody ekspertnykh ocinok: teorija, metodologhija, naprjamky vykorystannja: monoghrafija* [Methods of expert assessments: theory, methodology, direct selection: monograph]. Vinnitsa: VNTU [in Ukrainian].
9. Jeghorchenkov O. V., Jeghorchenkova N.Ju., Katajeva Je.Ju (2017) *Azbuka upravlinnja projektamy. Planuvannja: navchaljnyj posibnyk* [ABC of project management. Planning: tutorial]. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kiev [in Ukrainian].
10. Lavrov Je.A. (2017) *Matematychni metody doslidzhennja operacij: pidruchnyk* [Mathematical methods for performing operations: handbook]. Sumi: Sumy State University [in Ukrainian].

УДК 621.31:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.12>

## МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (ЦІН ТА ОБСЯГІВ)

**Остапченко К. Б.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних систем та технологій  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: 0000-0002-6957-8180

**Борукаєв З. Х.** – доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник, завідуючий лабораторією  
Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г. Є. Пухова  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0003-1290-6451

**Євдокімов В. А.** – кандидат наук з державного управління,  
старший дослідник, провідний науковий співробітник  
Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г. Є. Пухова  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0001-9497-4030

Розглядається постановка та способи вирішення проблеми управління попитом (*Demand Respose*) на ринку електричної енергії для забезпечення задач оперативного планування електроспоживанням з метою підвищення енергоефективності процесів виробництва, передачі та використання електроенергії. Під «управлінням попиту» визначається зміна обсягів споживання електроенергії кінцевими споживачами ринку відносно їх нормального (базового) – прогнозованого на визначений період часу навантаження у відповідь на зниження ціни на електроенергію з часом або на стимулюючі платежі, що спрямовані на скорочення електроспоживання у періоди високих цін на електроенергію на оптовому ринку або внаслідок виникнення позапитатних ситуацій, викликаних непередбаченими різкими змінами погодних умов чи аварійних станів, коли надійність системи перебуває під загрозою. Проаналізовано існуючі методи управління попитом для зниження рівня електроспоживання в пікові години навантаження із визначенням необхідності управління попитом у реальному або близькому до реального часу. Це зумовлює необхідність розробки та застосування моделей оперативного прогнозування електроспоживанням. На основі проведеного аналізу методів та засобів побудови моделей короткострокового прогнозування пропонується методика дослідження часових рядів та побудови моделі оперативного прогнозування показників стану ринку електричної енергії (цін, обсягів) в режимі близькому до реального часу. Застосування методики дозволить визначити формальні ознаки, автоматизувати і спростити процеси утворення системи моделей прогнозування показника, адекватного до поточного стану функціонування ринку із прийнятною оцінкою точності результату прогнозування. Це буде сприяти створенню передбачуваних передумов для прийняття рішень щодо участі учасників в аукціоні на сегментах оптового ринку електричної енергії.

**Ключові слова:** управління попитом, оперативний прогноз, часові ряди, ринок електричної енергії.

**Ostapchenko K. B., Borukaiev Z. Kh., Evdokimov V. A. Methodology for building an operational forecasting model of electricity market state indicators (prices, volumes)**

The formulation and methods of solving the demand management problem (*Demand Respose*) in the electricity market are considered to ensure the tasks of operational planning of electricity consumption in order to increase the energy efficiency of the processes of electricity production, transmission and use. “*Demand Respose*” is defined as a change in the volume of electricity

*consumption by market's end-users relative to their normal (basic) load, predicted for a certain time period in response to a decrease in the electricity price over time or to incentive payments aimed at reducing electricity consumption in periods of high electricity prices on the wholesale market or as a result of emergency situations caused by unforeseen sudden changes in weather conditions or emergency conditions, when the reliability of the system is at risk. The existing methods of demand management to reduce the level of electricity consumption during peak load hours are analyzed, with the determination of the need for demand management in real or close to real time. This necessitates the development and application of operational power consumption forecasting models. Based on the analysis of methods and means for building short-term forecasting models, a methodology of researching time series and building a operational forecasting model of electricity market's state indicators (prices, volumes) in a mode close to real time is proposed. The application of the methodology will allow determining formal signs, automating and simplifying the formation processes of a models system for forecasting indicator that adequate to the current state of market functioning with an acceptable assessment of the forecasting result accuracy. This will contribute to the creation of predictable prerequisites for decision-making regarding the participation of participants in the auction in the segments of the wholesale electricity market.*

**Key words:** demand response, operational forecast, time series, electricity market.

**Вступ.** Протягом багатьох років практично у всіх енергосистемах світу, в умовах суттєвої нерівномірності добових графіків навантаження, викликаних природно добовою нерівномірністю електроспоживання (попиту) на електроенергію, застосовувалися різні підходи до вирішення задачі планування управління електроспоживанням та для пошуку регуляторних механізмів, що забезпечують вирівнювання добового графіка електричного навантаження. Метою практичного застосування таких механізмів було зниження витрат генеруючими компаніями на одиницю продукції, що випускається, не порушуючи при цьому основні принципи існування самої енергосистеми, які пов'язані із виконанням жорстких вимог до забезпечення стійкості режимів її функціонування та надійності постачання електроенергії споживачам необхідної якості, визначеної відповідними стандартами. А також підвищення енергоефективності процесів виробництва, передачі та використання електроенергії.

**Постановка проблеми.** Очевидно, що основою для прийняття рішень щодо застосування тих чи інших регуляторних механізмів залишалася не менш жорстка вимога безперервного дотримання фізичного балансу виробництва та споживання енергії в енергосистемі в межах допустимих відхилень, та економічного (фінансового) балансу купівлі продажу електроенергії.

Укрупнено можна виділити три науково-практичних напрями, розвитку та застосуванню яких приділялася основна увага. Перший було пов'язано з розробкою та застосуванням методів прогнозування активного навантаження та електроспоживання з підвищеними показниками якості прогнозу, прогнозуванню обсягів відпуску електроенергію і зміни цін на її. Другий напрям досліджень було присвячено розробці та впровадженню диференційованих у часі доби тарифів на електроенергію, як стимулюючого регуляторного механізму управління електроспоживанням для споживачів. Третій напрям визначався необхідністю вирішення завдань енергозбереження та енергоефективності у рамках вирішення глобальних програм забезпечення сталого розвитку суспільства, зниження шкідливих викидів до атмосфери (декарбонізація) та його енергетичної безпеки.

Але з часом системи організаційного управління в багатьох енергосистемах переконалися, що при практичному використанні результатів отриманих у межах перерахованих напрямів тільки цих підходів в умовах зростання цін на енергоресурси, впровадження більш жорстких обмежень на викиди шкідливих речовин до навколишнього середовища, розвитком екологічно чистої розподіленої генерації

вичерпало ресурс істотного впливу на процеси ціноутворення у сенсі стримування зростання цін для кінцевих споживачів на роздрібному ринку електроенергії. Іншими словами, у розвитку енергосистем намітився якісно новий етап. Його виникнення було зумовлене проявом кількох факторів, таких як обмеження доступу до дешевих енергоносіїв, значне збільшення в енергосистемах об'єктів розподіленої генерації, слабо контрольоване зростання кількості споживачів з певною часткою власної генерації з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному обсязі споживання електроенергії з можливістю продажу її надлишків на ринку (активні споживачі) й т.ін.

Тоді й почався пошук нових системних рішень в частині удосконалення механізмів формування фізичного балансу виробництва та споживання електроенергії, економічного балансу пропозиції та попиту електроенергії за рахунок збільшення ролі споживачів в процесі регулювання режимами енергосистем, електроспоживанням шляхом стимулювання більш енергоефективного використання споживачами електроенергії та підвищення їх зацікавленості у участі безпосередньо в регулюванні процесів виробництва та розподілу електроенергії між всіма виробниками, який у науковій літературі отримав загальноприйнятту назву «Управління попитом» (“Demand Respose”). У деяких джерелах використовується близька за змістом назва «Цінозалежне споживання».

Необхідно відзначити, що незважаючи на численне застосування цього поняття і майже однаково сприйманий смисловий зміст у різних публікаціях, у науковій літературі і на сьогоднішній день немає його чіткого визначення. У цій роботі під «управлінням попиту» на електроенергію будемо розуміти зміну обсягів споживання електроенергії кінцевими споживачами роздрібного ринку відносно їх нормального (базового) прогнозованого на визначений період часу навантаження у відповідь на зниження ціни на електроенергію з часом або на стимулюючі платежі, що спрямовані на скорочення електроспоживання у періоди високих цін на електроенергію на оптовому ринку або внаслідок виникнення позаштатних, викликаних непередбаченими різкими змінами погодних умов чи аварійних станів ситуацій, коли надійність системи перебуває під загрозою.

Як відомо, питаннями управління попитом у енергосистемах багатьох країн світу займаються вже дуже давно, виходячи з необхідності врахування впливу на процес ціноутворення різних зовнішніх та внутрішніх факторів. У деяких країнах цей процес почався з того часу, коли питання будівництва нових регулюючих маневрених генеруючих потужностей стало неможливим, у зв'язку із відсутністю коштів та часу на їх будівництво. В інших у зв'язку з не контрольованим розвитком відновлювальних джерел енергії, появою великої кількості споживачів нового типу – «активних споживачів», які поряд із споживаючим електроенергію обладнанням мали генеруючі потужності, що використовували різні види ВДЕ. І, як наслідок, протягом певного часу могли поставляти надлишки власної генерації на ринок електроенергії. Це все вплинуло на впровадження нових принципів регулювання балансу електричної енергії в енергосистемі через механізм управління попитом, який і отримав назву “Demand Respose”.

Разом з тим, в деяких країнах світу цей процес проходить по різному. Але основними його елементами є, обов'язковість визначення економічних стимулів на проведення механізму управління попитом та наявність приладів обліку, які будуть підтверджувати відповідні дії споживача на команди операторів мереж, відповідальних за вирівнювання балансу потужності виробництва та споживання енергії в електричній мережі. Окрім цього, нові тенденції в електроенергетиці,

в тому числі зростання застосування ВДЕ, поява цифрових інтервальних лічильників електроенергії, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій для побудови інтелектуальних мереж (Smart Grid), визначили можливість оптимізації енергоспоживання і активного використання електротехнічного обладнання споживачів, за наявності технічних можливостей організації гнучкого попиту на електроенергію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проводячи огляд міжнародної профільної наукової літератури за останні 5 років, процес управління попитом у світі став одним із значущим елементом створення окремих сегментів надання на оптовому ринку відповідних системних послуг, пов'язаних з динамічною зміною електроспоживанням відповідно до вимог системного оператора ринку. Було створено багато нових пілотних проектів по запровадженню реальних систем організаційно-технологічного управління попитом державного рівня на великомасштабних ринках електроенергії (США, Австралія, Японія, країни Європейського Союзу та ін.). До найбільш успішних серед них можна назвати, наприклад, системи PJM, NYISO, CAISO, New England ISO, Interruptibility Service, тому що використання ними зручного для користувачів методичного та інструментального забезпечення та економічних умов стимулювання участі в різноманітних програмах управління попитом сприяли зростанню в них частки сторони споживачів. Багато досліджень в науковій літературі присвячено питанням розробки різних способів щодо створення економічних стимулів до включення споживачів до процесу управління попитом, починаючи із простих принципів – встановленням диференційованих тарифів для споживачів на постачання електричної енергії в період часу, необхідного для регулювання його споживання (збільшення/зменшення), до складних – регулювання власного споживання в режимі реального часу та по команді операторів мереж.

Як правило, прості принципи управління попитом, реалізуються на рівні роздрібному ринку електричної енергії та мають на меті лише «здвинути графік споживання споживача» із максимальних «зон визначення цін та обсягів». При цьому, зазначені споживачі не беруть участь у ринку системних послуг та не створюють «додаткового блага» для роботи всієї енергетичної системи. Це більше нагадує елементи енергозбереження та енергоефективності. Що стосується складних систем управління попитом, це питання створення окремого сегменту ринку надання системних послуг для мережевих операторів і як правило, механізм здійснення купівлі таких послуг проходить через оптовий ринок електричної енергії. При цьому, для надання таких послуг встановлюється з боку мережевих операторів окремі технічні та організаційні критерії роботи таких споживачів на ринку системних послуг. Більш детальну інформацію щодо досвіду розробки та впровадження пілотних проектів на прикладі управління попитом на прикладі національних ринків Данії та Іспанії можна знайти в роботі [1].

Для розв'язання задач організації інформаційно-технологічної та комерційної взаємодії в рамках реалізації участі споживачів у різних програмах управління попитом було розроблено чимало програм, найвідомішою серед яких є програма Demand Side Management (DSM). В її основу покладено комплекс взаємопов'язаних механізмів – інструментів для зниження рівня електроспоживання в пікові години навантаження. Ця програма поєднує комплекс необхідних інструментальних засобів, які націлені на управління електроспоживанням за допомогою стимулюючих цін на електроенергію та стимулювання участі споживачів у наданні системних послуг.

В роботі [2] проаналізовано існуючі методи управління попитом за допомогою споживачів-регуляторів, виконано аналіз вимог національних програм в частині управління попитом та надання послуг в лібералізованому ринку електричної енергії України. Дуже важливим є й те, що авторами роботи обґрунтовано і доведено необхідність управління попитом в реальному часі (в режимі, близькому до реального часу) з метою забезпечення економічних режимів функціонування ОЕС в умовах масового інтегрування до електричної мережі розосереджених некерованих генеруючих установок на базі використання ВДЕ. Саме ця обставина і зумовлює необхідність розробки та застосування моделей оперативного прогнозування електроспоживанням задля вирішення завдань управління попитом споживачів на роздрібному ринку електричної енергії. Разом із динамічним ціноутворенням і запровадженням тарифів реального часу сприятиме забезпеченню економічних режимів функціонування ОЕС та якісного електропостачання споживачів.

Метою роботи є на основі аналізу застосування методів та засобів побудови моделей короткострокового прогнозування формалізувати методіку автоматизованого дослідження часових рядів для побудови моделі оперативного прогнозування показників стану ринку електричної енергії (цін, обсягів) в режимі, близькому до реального часу для підвищення рівня інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень учасниками сегментів оптового ринку електричної енергії – виробників, споживачів, адміністраторів.

**Методика побудови моделей прогнозування.** Основним призначенням запропонованої методіки дослідження та проектування моделі є формування обґрунтованого інформаційного забезпечення розрахунково-технологічного процесу оперативного планування електропостачання на оптовому ринку електроенергії за рахунок комплексного аналізу особливостей задач оперативного прогнозування цін і обсягів купівлі-продажу електроенергії із використання інформаційних технологій і штучного інтелекту.

Беручи до уваги дослідження різних авторів, процес проектування прогностичних моделей та прогнозування цін і обсягів на ринку електроенергії проводиться за наступними етапами.

1. Визначення мети прогнозування ринкових параметрів – цін і обсягів.

Різні суб'єкти господарювання можуть використовувати прогнози ринкової ціни і обсягу на електроенергію, досягаючи свої власні, але різні цілі. Проте, для поточної діяльності учасників ринку, незалежно від їх функції, необхідним для забезпечення діяльності горизонтом прогнозування є оперативний період на години розрахункової доби, короткотерміновий період на добу наперед, середнє терміновий для тижня, місяця та довготерміновий період для року. Оперативний прогноз визначає значення погодинних цін і обсягів, коротко-, середнє терміновий – середнє зважені добові значення, довготерміновий – місячні значення. В результаті параметрами прогнозування виступають ціна та обсяг, а показник прогнозування буде залежати від особливостей об'єкту прогнозування – купівлі, продажу, споживання, відпуску, навантаження електроенергії.

2. Аналіз особливостей ринкової ціни та обсягів на електроенергію.

Метою аналізу статистичних властивостей часового ряду цін і обсягів на електроенергію є визначення класу його приналежності, що дозволить вибрати адекватний математичний апарат для моделювання часового ряду. Комплексний аналіз динаміки цін та обсягів на ринку електроенергії повинен охопити наступні їх особливості – мінливість, шипи і стрибки, повернення до середнього значення, сезонність та інша періодичність.

Показники, які можна застосувати для розкриття мінливості динаміки на ринку електроенергію, представлені в табл. 1 [3].

Таблиця 1

**Показники визначення особливостей мінливості динаміки цін і обсягів**

Показник	Формула	Оцінка значення показника
Дисперсія	$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i$	Чим вище значення, тим більше нестабільна ціна/обсяг на електроенергію
Стандартне відхилення	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	
Стандартна мінливість	$\tilde{\sigma} = \sigma \times \sqrt{365}$	
Квадрат різниці двох сусідніх значень	$SD = (x_t - x_{t-1})^2$	
Коефіцієнт коливання	$K_R = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\bar{x}} \times 100\%$	
Коефіцієнт варіації	$K_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$	до 10 % – варіація низька; 10–20 % варіація середня; 20–30 % варіація висока; 30 % і більше варіацій – дуже висока варіація
Добовий показник швидкості, розрахований для середньої ціни електроенергії протягом дня	$DVDA_i = \frac{1}{M} \times \frac{\sum_{j=1}^{M-1}  P_{ij+1} - P_{ij}  +  P_{i-1M} - P_{i1} }{\frac{1}{M} \times \sum_{j=1}^M P_{ij}}$	Чим вище значення, тим більше нестабільна ціна/обсяг на електроенергію
Добовий показник швидкості, розрахований для середньої ціни електроенергії за певний період часу	$DVPA_i = \frac{1}{M} \times \frac{\sum_{j=1}^{M-1}  P_{ij+1} - P_{ij}  +  P_{i-1M} - P_{i1} }{\frac{1}{M \cdot N} \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P_{ij}}$	

У показниках використані наступні позначення:  $\sigma^2$  – дисперсія,  $n$  – кількість спостережень,  $\bar{x}$  – середнє значення часового ряду,  $x_t$  – значення спостереження в момент  $t$ ,  $x_{\max}$  – максимальне значення змінної,  $x_{\min}$  – мінімальне значення змінної,  $N$  – кількість інтервалів (днів) протягом певного періоду часу,  $i$  – індекс дня ( $i = 1, N$ ),  $M$  – кількість моментів часу у інтервалі на день (для погодинних

моментів  $M=24$ ),  $j$  – індекс часового моменту ( $i = \overline{1, M}$ ),  $P_{ij}$  – ціна електроенергії в момент часу  $j$  доби  $i$ .

Для виявлення критичних значень стрибків цін, поріг має бути розрахований за показниками, наведеними у табл. 2 [3]. Вважається, що всі ціни на електроенергію нижче або вище критичного значення ціни на електроенергію вважаються стрибками ціни.

Таблиця 2

## Показники для виявлення стрибків цін

Показник	Формула	Оцінка значення показника
Критичне значення ціни	$P_K = \bar{x} \pm 2 \cdot \sigma$	Якщо $P > P_K$ або $P < P_K$ , то $P$ відповідає визначенню стрибку цін. Критичне значення ціни може бути встановлене за допомогою правила $3 \cdot \sigma$ і $4 \cdot \sigma$ (стандартного відхилення)
Негативна ціна	$P < 0$	Усі негативні ціни представляють ціну шипа (стрибка)
Коефіцієнт асиметрії	$K_A = \frac{1}{n} \times \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}$	Це міра «зкошеності» значень часового ряду або міра симетричності щодо середнього значення. Якщо $K_A > 0$ , то ціна набуває надзвичайно високого значення частіше, ніж надзвичайно низькі.
Коефіцієнт ексцесу	$K_E = \frac{1}{n} \times \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4}$	Це міра гостровершинності або плосковершинності значень часового ряду. Якщо $K_E > 0$ , то ціна частіше набуває надзвичайно високого значення.

Беручи до уваги результати кореляції рядів, може бути зроблений висновок про сезонність (періодичність) величини ціни/обсягу електроенергії, а дослідження повернення до середнього значення ринкової ціни на електроенергію можливо за допомогою  $R/S$ -аналізу зміни діапазону та  $DFA$ -аналізу коливання без тренду [4].

В аналізі часових рядів важливим є вибір адекватного математичного апарату, який головним чином залежить від загальних тенденцій в часовому ряді і класу його приналежності. Часовий ряд процесу, що розвивається в часі відповідно до законів теорії ймовірностей, є стохастичним часовим рядом. Залежно від зміни імовірнісних характеристик процесу часові ряди поділяються на стаціонарні та нестаціонарні.

Однак для прогнозування, іншим важливим фактором класифікації часових рядів є ознака наявності довгострокової пам'яті. В науковій літературі залежно від наявності довгострокової пам'яті часові ряди діляться на персистентні, хаотичні, антиперсистентні. У персистентних часових рядах спостерігається довгострокова пам'ять, в хаотичних – невизначеність, в антиперсистентних – відсутність довгострокової пам'яті. Часові ряди з довготривалою пам'яттю називають як «часові ряди з довготривалими кореляціями» [5].

Ідентифікаційними ознаками даної класифікації часових рядів є: підпорядкування розподілу нормальному закону, стаціонарність, фрактальна розмірність часового ряду.

Для виявлення першої властивості обчислюють наступні характеристики розподілу часового ряду: коефіцієнт варіації; коефіцієнт асиметрії; коефіцієнт ексцесу. У нормальному законі розподілу обчислені характеристики мають наступні значення  $K_V = 3$ ,  $K_A = 0$ ,  $K_E = 3$ . Допустима межа зміни цих характеристик 5 %.



Другу властивість обумовлює обчислення статистичних характеристик ряду: зміни математичного очікування або середнього значення, зміни дисперсії або ступеня розсіювання значень ряду відносно математичного очікування:

$$\Delta\bar{x}(t) = \frac{|\bar{x}(t) - \bar{x}(t-1)|}{\bar{x}(t-1)} \times 100\%, \quad \Delta\sigma(t) = \frac{|\sigma(t) - \sigma(t-1)|}{\sigma(t-1)} \times 100\%$$

де  $t$  – порядковий номер інтервалу розбиття часового ряду. Умова стаціонарності – межа зміни цих характеристик 5 %.

Для виявлення третьої властивості визначають фрактальну розмірність часового ряду по формулі:

$$\Delta\bar{x}(t) = \frac{|\bar{x}(t) - \bar{x}(t-1)|}{\bar{x}(t-1)} \times 100\%, \quad \Delta\sigma(t) = \frac{|\sigma(t) - \sigma(t-1)|}{\sigma(t-1)} \times 100\%,$$

де  $H$  – показник Херста, який вираховується за допомогою алгоритму  $R/S$ -аналіза. Фрактальна розмірність часового ряду приймає значення в інтервалі  $R \in (1,2)$ .

З наукової літератури відомо багато різних класифікацій рядів із наявною довгостроковою пам'яттю, серед яких можна виділити наступну:

– Персистентні ряди з наявністю довгострокової пам'яті ідентифікуються за ознаками не нормального закону розподілу, не стаціонарності та  $R \in (1.1,4)$ . Для таких рядів застосовуються моделі – нелінійної динаміки (штучні нейронні сітки, нечіткі системи, еволюційні алгоритми моделювання, фрактальний, фазовий аналіз).

– Хаотичні ряди з відсутність пам'яті ідентифікуються за ознаками нормального закону розподілу, стаціонарності та  $R \in (1.4,1.6)$ . Для таких рядів застосовуються моделі – статистичні, регресійні.

– Антиперсистентні ряди з наявністю короткочасної пам'яті ідентифікуються за ознаками не нормального закону розподілу, не стаціонарності та  $R \in (1.6,2)$ . Для таких рядів застосовуються моделі – нелінійної динаміки, статистичні, регресійні.

З аналізу багатьох джерел встановлено, що практично всі досліджувані ряди цін на електроенергію (як часових, так і середньодобових) мають розподіл, відмінний від нормального з наявністю піків (коефіцієнтами ексцесу) і «важкими хвостами» (асиметрією). На довгостроковому горизонті ціни на електроенергію показують властивість повернення до середнього значення, апроксимуючи середній рівень (іноді змінюється в часі).

Висока і змінювана в часі волатильність, а також кластеризація волатильності характерна для всіх оптових ринків електроенергії. Спостережувані різкі короткострокові стрибки цін можуть бути викликані погодними умовами, позаплановими зупинками генеруючого обладнання або аваріями в системі передачі електроенергію.

3. Визначення сукупності факторів, що формують ринкову ціну і обсяг на електроенергію та впливають на їх зміни.

Зазвичай ринкову ціну і обсяг на електроенергію прогнозують, включаючи в моделі прогнозування такі показники – історичні дані ціни і обсягу на ринку електроенергії, обсяг споживання електроенергії, ціни на паливо (нафту, природний газ, уран та вугілля), що використовуються для виробництва електроенергії, температура повітря, тривалість світлового дня, водянні ресурси, курси валют. Також, факторами впливу можуть бути визначені ознаки приналежності поточного

дня до вихідного, святкового, робочого дня, галузеві екзогенні фактори – графік завантаження ТЕЦ, ремонтні компанії, водність ГЕС, стратегії постачальників.

#### 4. Визначення найважливіших факторів.

Аналіз чутливості [6] та кореляційний аналіз [7] є одними з методів, які можуть бути використані для виявлення найбільш значущих факторів ціни, обсягу на ринку електроенергії.

#### 5. Збір статистичної інформації та її первинна обробка.

Необхідно зібрати достатню кількісну та якісну інформацію про ринкові фактори, виконати первинне коригування їх рядів (фільтрування, нормалізацію) і врахувати періодичності (сезонності) у виді екзогенних змінних.

У зв'язку зі складними характеристиками часових рядів цін і обсягів на електроенергію перед побудовою моделі прогнозу застосовують первинне коригування значень рядів у вигляді логарифмування, взяття різниці вихідного ряду, а в деяких випадках – видалення викидів в ряді. Для зручності подальшого аналізу здійснюється центрування вихідного ряду.

Для обліку періодичності в цінах і обсягах на електроенергію використовують:

- включення фіктивних змінних, що враховують годину доби, дні тижня, святкові, вихідні дні, робочі дні, а також сезонність пори року або місяця;
- розщеплення (кластеризацію) вихідного ряду на окремі компоненти, в тому числі і на компоненти сезонності, з наступною побудовою прогнозів для окремих отриманих рядів;
- включення в модель ретроспективних даних з часовими лагами різної глибини;
- комбінування перерахованих способів.

Включення лагів в модель дозволить вловити добову, тижневу, а також більш довгострокову періодичність. У дослідженнях моделей прогнозування використовуються часові лаги в діапазоні від 24 до 504 значень.

На динаміку попиту на електроенергію значно впливають економічна і господарська активність, а також погодні умови. Ці ключові фактори пояснюють високу частоту коливань цін на електроенергію, помічену для всіх оптових ринків. Розрізняють добову, тижневу і сезонну періодичність. Але зустрічається врахування коливання цін в святкові дні – календарні ефекти. У переважній більшості досліджень часовий горизонт прогнозу становить 1 добу (в часовому або добовому розрізі). Однак, зустрічаються моделі, в яких прогнозуються ціни на 1–3, 1–7 або 1–30 діб наперед.

#### 6. Вибір методу прогнозування.

Метод прогнозування вибирається з урахуванням наступних вимог: метод повинен бути адаптивним та гнучким; фактори-причини та фактори-результати повинні бути чітко відокремлені в методі прогнозування, тобто метод прогнозування не може бути суперечливим; метод повинен бути конструктивним.

На сьогоднішній день розроблено велику кількість моделей прогнозування часових рядів. Без обмеження спільності з точки зору як тривалості горизонту планування, так і застосовуваної методології в якості відправної точки слід розглядати роботи [4; 8] із комбінуванням класів моделей в наступну структуру їх класифікації:

- Мультиагентні методи (багатоагентне моделювання рівноваги, теорія ігор), що моделюють роботу системи різнорідних агентів (генеруючих суб'єктів, компаній), які взаємодіючи один з одним формалізують ціновий процес шляхом зіставлення попиту і пропозиції.

- Фундаментальні (структурні) методи, що описують цінову динаміку шляхом моделювання впливу важливих фізичних і економічних чинників, що впливають на ціну електроенергії.

– Зведені моделі скороченої форми (кількісні, стохастичні), які характеризують статистичні властивості ціни за електроенергію з плином часу, з подальшою оцінкою похідних фінансових інструментів та управління ризиками.

– Статистичні методи (економетричні, технічний аналіз), які є або прямим їх статистичними застосуванням для прогнозування навантаження або реалізацією економетричних моделей ринку електроенергії.

– Методи обчислювального інтелекту (на основі штучного інтелекту, непараметричні, нелінійні моделі), які поєднують елементи навчання, еволюції та нечіткості створюваного підходу, здатні адаптуватися до складних динамічних систем.

Нарешті, слід виділити підхід до моделювання та прогнозування на базі гібридних рішень, що поєднують методи з різних класів, перераховані вище. Це так званий процес змішування або ансамблювання (Ensemble), який отримав назву блендінг (Blending). Блендінг може бути організовано як доволі просте комбінування моделей із фіксованими коефіцієнтами врахування впливу на прогнозний результат, так і шляхом оптимізаційного пошуку при обчисленні коефіцієнтів.

Отже на даний час, в сучасних практиках підвищення якості моделей прогнозування починають переважати інтелектуальні методи та гібридний підхід до застосування моделей, тобто створення комбінованих за принципом дії моделей прогнозування.

На вибір методу прогнозування повинно також впливати, в тому числі його часові параметри (глибина використаних даних, горизонт прогнозу) та наявність екзогенних змінних, які детерміновані на достатню глибину перспективи збирання даних. Часові параметри історичних даних слід розглядати з годинним лагом з 1, 24, 48, 168, враховуючі їх кластеризацію за сезоном, місяцем, добою.

#### 7. Розрахунок прогнозу та оцінка точності прогнозів.

Для оцінки точності прогнозу використовуються наступні показники MAPE, MAE, RMSE та інші (табл.3). Ціни на ринку електроенергії швидко змінюються і формують 24 або 48 значень ціни на електроенергію за добу. Тому для обчислення похибки, достатньо взяти дані за один тиждень. Це відповідає 168 спостереженням. Якщо буде проаналізовано дані за тиждень ( $M=168$ ), тоді до позначення показника помилки може додаватися літера “*W*”.

Таблиця 3

#### Показники точності прогнозу

Показник точності	Формула показника	Оцінка значення показника
Середня абсолютна відносна помилка	$MAPE = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M \left  \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right  \cdot 100\%$	Прогноз буде дуже точним, якщо MAPE не перевищують 10 %. Недостатня точність прогнозу, якщо MAPE перевищує 50 %.
Скоригований середня абсолютна відносна помилка	$MAPE = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M \left  \frac{x_i - \hat{x}_i}{\bar{x}} \right  \cdot 100\%$	
Середня абсолютна помилка	$MAE = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M  x_i - \hat{x}_i $	Чим нижче, тим краще
Средньоквадратична помилка	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (x_i - \hat{x}_i)^2}$	Чим нижче, тим краще

У показниках використані наступні позначення:  $x_i$  – фактичні значення,  $\hat{x}_i$  – прогнозні значення для моменту часу  $i$ ,  $M$  – роПІВІзрахунковий період спостереження.

**Висновки.** Особливістю створення методики проектування моделі оперативного прогнозування показника стану ринку електричної енергії є її адаптованість під змінювані умови функціонування не сталого децентралізованого ринку.

Практичним результатом застосування методики є створення інструментальної основи для утворення системи моделей, що забезпечують прогноз показника, адекватного до поточного стану функціонування ринку із прийнятною оцінкою точності результату прогнозування, який дозволить створити передбачувані умови для прийняття рішень щодо участі в аукціоні учасників ринку на різних його сегментах, зокрема на добу наперед.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>. Дата доступу 09.04.2022р.
2. Коцар О.В, Расько Ю.О. Вдосконалення методичного та інструментального забезпечення управління попитом в лібералізованих ринках електричної енергії. *Технічна електродинаміка*. 2023. № 3. С. 68–78. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2023.03.068>
3. Bobinaite V., Konstantinavičiūtė I., Lekavičius V. Theoretical Model for Electricity Market Price Forecasting. *Economics and Management*. 2012. Vol. 17, № 3. PP. 944–951. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.3.2119>
4. Weron R. Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: Statistical Approach. John Wiley & Sons Ltd., 2006. 192 p.
5. Peters E. Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility, 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd., 1996. 288 p.
6. Aggarwal S.K., Saini L.M., Kumar A. Electricity Price Forecasting in Deregulated Markets: A Review and Evaluation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2009. Vol. 31, № 1. P. 13–22.
7. Singhal D., Swarup K.S. Electricity Price Forecasting Using Artificial Neural Networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2011. Vol. 33, № 3. P. 550–555.
8. Weron R. Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*. 2014. Vol. 30. P. 1030–1081. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>

### REFERENCES:

1. Stan i perspektyvy rozvytku tekhnolohii “intelektualnykh” elektromerezh, upravlinnia popytom ta system rezhymnoho upravlinnia v umovakh rozvytku ponovliuvanykh dzherel enerhii u zarubizhnii enerhetychnii sferi [The state and prospects of the development of technologies of “intelligent” power grids, demand management and mode control systems in the conditions of the development of renewable energy sources in the foreign energy sector]. Retrieved from: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>. (Date of access: 09.04.2022) [in Ukrainian].
2. Kotsar, O.V, & Rasko, Yu.O. (2023). Vdoskonalennia metodychnoho ta instrumentalnoho zabezpechennia upravlinnia popytom v liberalizovanykh rynkakh elektrychnoi enerhii [Improvement of methodical and instrumental provision of demand

management in liberalized electricity markets]. *Tekhnichna elektrodynamika*, 3, 68–78. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2023.03.068> [in Ukrainian].

3. Bobinaite, V., Konstantinavičiūtė, I., & Lekavičius, V. (2012). Theoretical Model for Electricity Market Price Forecasting. *Economics and Management*, 17(3), 944–951. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.3.2119>

4. Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: Statistical Approach*. John Wiley & Sons Ltd., USA.

5. Peters, E. (1996). *Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*, 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd., USA.

6. Aggarwal, S.K., Saini, L.M., & Kumar, A. (2009). Electricity Price Forecasting in Deregulated Markets: A Review and Evaluation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 31(1), 13–22.

7. Singhal, D., & Swarup, K.S. (2011). Electricity Price Forecasting Using Artificial Neural Networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(3), 550–555.

8. Weron, R. (2014). Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 30, 1030–1081. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>

UDC 541.121

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.13>

## COMPUTER MODELING OF HYDROGEN INDUCED MASS TRANSFER IN SEMICONDUCTORS

**Sgadov S. O.** – Senior Lecturer

at the Department of Computer Systems and Networks

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

ORCID ID: 0000-0002-7994-6530

*In connection with the widespread use of copper conductors in microelectronics, the problem arises of modeling the processes that occur when active gases act on the substrate surface. The situation is further complicated by the circumstance that in order to obtain the final result facing a specific process, individual parts of the system are specifically placed under the influence of an external force. This complicates the thermodynamic modeling of systems in which both the location of the phase boundaries and the distribution of substances over the volume are essential. Based on thermodynamic principles, a model is proposed for the behavior of copper penetration into germanium from spots on the surface under the action of sprayed hydrogen. It has been suggested that some of the energy that is released on the surface is transferred to the crystal lattice and copper atoms and causes a shift in equilibrium. A differential equation is derived that describes the propagation of deviations from the equilibrium composition, and a method for compiling boundary conditions for it is also shown. The results of modeling the hydrogen-germanium-copper system are presented, and the dependence of the concentration of diffused copper on the concentration of superequilibrium atomized hydrogen is obtained. It has been proven that an increase in hydrogen atomization ensures an increase in the number of copper atoms in germanium. Thus, the stationary state of a chemical heterophase system, caused by a point source of perturbation of the chemical composition, is described using the minima of the functionals corresponding to the shift of the Gibbs free energy from the equilibrium value into the elementary cells of the system, the distribution of which over the system is described by differential equations of the form. In this case, due to the consideration of zones (elementary cells) bordering the phase boundary, not only the dissolution of an impurity in a solid body, but also sorption phenomena are described. The results of applying the model in an extended reactor for the H-H<sub>2</sub> system are also presented, and the correspondence of the results to the classical scheme for solving the problem using mass transfer equations is shown.*

**Key words:** thermodynamics, equilibrium concentration, mass transfer.

### **Сгадов С. О. Комп'ютерне моделювання індукованого воднем масопереносу у напівпровідниках**

*У зв'язку з широким використанням мідних провідників у мікроелектроніці постає проблема моделювання процесів, що відбуваються при дії активних газів на поверхню підкладки. Ситуація ускладнюється ще й тією обставиною, що для отримання кінцевого результату в конкретному процесі окремі частини системи спеціально піддаються впливу зовнішньої сили. Це ускладнює термодинамічне моделювання систем, в яких істотне значення має як розташування меж фаз, так і розподіл речовин за об'ємом. На основі термодинамічних принципів запропоновано модель поведінки проникнення міді в германій з плям на поверхні під дією розпиленого водню. Було припущено, що частина енергії, яка вивільняється на поверхні, передається кристалічній решітці та атомам міді та викликає зміщення рівноваги. Виведено диференціальне рівняння, яке описує поширення відхилень від рівноважного складу, а також показано метод складання для нього граничних умов. Наведено результати моделювання системи водень-германій-мідь і отримано залежність концентрації дифундуваної міді від концентрації надрівноважного розпиленого водню. Доведено, що збільшення розпилення водню забезпечує збільшення числа атомів міді в германії. Таким чином, стаціонарний стан хімічної гетерофазної системи, викликаний точковим джерелом збурення хімічного складу, описується за допомогою мінімумів функціоналів, що відповідають зсуву вільної енергії Гіббса від рівноважного значення в елементарні комірки системи, розподіл яких по системі описується диференціальними рівняннями виду. У цьому випадку завдяки врахуванню зон (елементарних осередків), що межують з межею розділу фаз, описується не тільки розчинення домішки в твердому тілі, а й сорбційні явища. Також наведено результати застосування моделі в розширеному реакторі для системи H-H<sub>2</sub> та показано відповідність результатів класичній схемі розв'язання задачі за рівняннями масопереносу.*

**Ключові слова:** термодинаміка, рівноважна концентрація, масоперенос.

**Introduction.** Processing of surfaces with the activated gas phase finds a wide application in the technologies connected by cleaning, oxygenating, nitridation of a surface of solid bodies, their etching, sedimentation on a surface of various coverings [1, 2]. Such processes, for the purpose of modeling, are usually described by methods of chemical kinetics [3]. So way they receive systems of the differential equations (most often nonlinear and non-uniform) containing parameters which are selected empirically from a condition of coordination of results of modeling with experimental data for each case. Along with methods of chemical kinetics equilibrium thermodynamics methods have wide distribution for studying of structure of systems [4]. Such methods use thermodynamic parameters which are derived on the basis of independent experimental data, are reliably established and tabulated.

However the considered systems in principle are non-uniform and therefore are nonequilibrium. The situation is complicated also by that circumstance that for obtaining the end result facing concrete process, separate parts of system are specially taken away under the influence of external power. It complicates thermodynamic modeling of systems in which both the arrangement of borders of phases, and distribution of substances on volume is essential.

As the majority of above-mentioned processes are conducted in the stationary modes, the author made attempt to apply thermodynamic methods to the description of processes of interaction of the activated gases with a surface of a solid body.

Due to the wide use of copper conductors in microelectronics there is a problem of modeling of processes which happen at impact of active gases on a substrate surface. In this work the behavior model of the copper getting in germany of the islands of copper applied on the surface of the semiconductor in the form of fragments of a thin film at influence of the atmosphere of atomized hydrogen on the basis of thermodynamics methods is considered.

**Mathematical model.** The most general, i.e. not demanding strict specification, approaches are thermodynamics methods on the basis of optimization of thermodynamic potentials, for example, Gibbs's function. It will allow do not consider concrete mechanisms of migration of atoms of copper in germany. Then the task is formulated as a research of amount of the dissolved substance in a substrate depending on concentration of atomic hydrogen.

Thus, the considered system includes:

**H<sub>2</sub>, H, Ge (gas)** – a gas phase;

**Cu** – in the form of a film,

**Ge (кр), Cu in Ge, H in Ge** – as components of solid solution.

Using of such model assumptions of structure of system allows to find a conditional minimum of energy of Gibbs look like:

$$G(\vec{n}, \vec{N}) = \sum_{i=1}^I n_i \left( c_i + \ln \frac{n_i}{\sum n_i} \right) + \sum_{k=1}^K N_k c_k \quad (1)$$

where

$$c_i = \frac{\Delta_{f,0} H_i}{RT} - \frac{\Phi_i^*}{R} + \ln p, \quad c_k = \frac{\Delta_{f,0} H_k}{RT} - \frac{\Phi_k^*}{R} \quad (2)$$

corresponds to individual substances in the gas and condensed phase.

$\Delta_{f,0} H$  – their enthalpies of education,  $\Phi^*$  – their specified thermodynamic potential (Massye – Planck's function), defined from experimental data [5],  $p$  – the general pressure in the atmospheres.

The material balance is considered by restrictions look like

$$\sum_{i=1}^I a_{ji} n_i + \sum_{k=1}^K a_{jk} N_k = b_j, \quad j=1..J \quad n_i > 0, \quad N_k \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } k. \quad (3)$$

Function (1)–(3) have been minimized analytically by method of multipliers of Lagrange [4]

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln \frac{n_i}{P} = \sum_j a_{ji} \lambda_j - c_i, \quad (i=1..I), \\ \sum_j a_{jk} \lambda_j - c_k = 0, \quad (k=1..K), \\ \sum_i a_{ji} n_i + \sum_k a_{jk} N_k - b_j = 0, \quad (j=1..J) \end{array} \right. \quad (4)$$

and (missing intermediate calculations) we receive expression for a share of the dissolved copper in germanium:

$$\omega_{Cu_{Ge}} = \exp(c_{Cu(sp)} - c_{Cu_{Ge}}). \quad (5)$$

As in the received formula the copper's part in solution has no obvious dependence on concentration of monohydrogen, the author make the assumption that some part from energy of  $Q = K \Delta_{pek} H[H]^2$  which is allocated at a hydrogen recombination for surfaces is transferred to a crystal lattice and atoms of copper. At the same time subexponential expression changes at a inteface

$$\phi = \frac{\beta Q}{RT} = \frac{\beta K \Delta_{pek} H[H]^2}{RT}, \quad (6)$$

where  $\beta \approx \frac{n_{Cu}}{n_{Ge} + n_{Cu}}$  – a part of the transferred copper film of energy of a recombination of hydrogen and K-coefficient characterizing experimental conditions and speed of reaction,

$\Delta_{pek} H$  – hydrogen recombination enthalpy,  $[H]$  – its concentration.

Finally we receive a part  $\omega_{Cu_{Ge}}^*$  of superequilibrium copper in Germanium

$$\omega_{Cu_{Ge}}^* = \exp\left(\frac{n_{Cu}}{n_{Ge} + n_{Cu}} \frac{K \Delta_{pek} H[H]^2}{RT}\right) \exp(c_{Cu(sp)} - c_{Cu_{Ge}}). \quad (7)$$

Finally we have:

$$\omega_{Cu_{Ge}}^* = \omega_{Cu_{Ge}} \exp\left(\frac{n_{Cu}}{n_{Ge} + n_{Cu}} \frac{K \Delta_{pek} H[H]^2}{RT}\right) \exp(c_{Cu(sp)} - c_{Cu_{Ge}}), \quad (8)$$

where  $n_{Cu}$  – amount of copper in a film,  $n_{Ge}$  – quantity germanium in a near-surface layer in moths,  $\Delta_{pek} H$  – a specific enthalpy of a recombination of atomic hydrogen,



and  $[H]$  – its concentration,  $K$  – the empirical coefficient reflecting experimental conditions.

For accounting of transfer of products of chemical reactions between cells we will write down the continuity equation look as:

$$D_i \frac{\partial^2}{\partial x^2} n_i = F_i(n, x) \quad (9)$$

where  $F_i(n, x)$  – considers interaction of  $i$ -go of substance with borders.

The amount of the substance  $n_{im} = n(x_m)$  has to satisfy to differential equation (9). Therefore substituting  $n(x)$  in the form of

$$n_{im} = P_m \exp\left(\sum_{j=1}^J a_{ji} \lambda_{jm} - c_{im} - \Phi_{im}\right) \quad (10)$$

in the equation (9) we receive the equation for distribution of perturbation in the system:

$$-\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x}\right)^2 + \frac{\partial \phi_i}{\partial x} f_i(x) + g_i(x) = \omega_i, \quad (11)$$

where

$$\begin{aligned} f_i(x) &= 2(c_i' - \sum_j a_{ji} \lambda_j' - \frac{P'}{P}), \\ g_i(x) &= (c_i')^2 - 2c_i' \sum_j a_{ji} \lambda_j' + \left(\sum_j a_{ji} \lambda_j'\right)^2 + 2\frac{P'}{P} \left(c_i' - \sum_j a_{ji} \lambda_j'\right) - c_i'' + \sum_j a_{ji} \lambda_j'' + \frac{P''}{P}, \\ \omega_i &= F_i / \left[ D_i P \exp\left(\sum_j a_{ji} \lambda_j - c_i - \phi_i\right) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

value  $\omega_i$  considers influence of boundary conditions and power exchange on borders of the cell and in case of two and more measured boundary-value problems it is most often equal to zero since in this case it is considered by boundary con-

ditions. For example, for the recombination case on walls  $F_i = \frac{\gamma_i V_i n_i}{2r}$  there-

fore from (11) we receive  $\omega_i = \frac{\gamma_i V_i}{2rD_i}$  where  $r$  – the cross size of the system,  $\gamma_i$  and

$V_i$  – the recombination coefficient and thermal speed of molecules respectively. Gener-

ally speaking, boundary conditions for (11) can be received from boundary conditions for the equation of the mass transfer (10) according to the scheme:

$$\begin{aligned} n_i(x_0) &= n_i^o \rightarrow \phi_i|_{x=0} = -\ln \frac{n_i}{n_i^*}, \\ n_i'(x_0) &= \Pi_i \rightarrow \phi_i'(x_0) = \sum_j a_{ji} \lambda_{jm} + \frac{P}{P} - c_{im} - \frac{\Pi_i}{P n_i(x_0)} \end{aligned}$$

where  $n_i^*$  – equilibrium concentration.

Values  $\phi_{im} = \phi_i(x_m)$  and  $\lambda_{jm}$  are also interdependent therefore it is reasonable to use the Zeydel method, having separated process of the solution of the system (4) and differential equation (11) substituting in turn the received values  $\phi_{im}$  in the system (4) and received from it  $\lambda_{jm}$  in coefficients and local conditions of the equation (11).

If the considered process is in steady state, then it is possible to demand performance of the principle of detailed balance in sense of constancy of amount of atoms in each unit cell and in volume in general. On the other hand as a result of chemical reactions atoms do not disappear and do not arise, and there is their regrouping both between substances, and in space. And from here follows that if the system contains J grades of atoms, then for them conservation law in the form of the law of continuity, for concentration of j-go atoms of the grade  $b_j$  which for the case of fixed diffusion constants (i.e. not depending from x) can be written down in the look has to be carried out  $b_j$ :

$$\nabla^2 b_j = 0, \quad j=1..J. \quad (13)$$

The solution of the corresponding boundary-value problem for these equations on the differential grid is the sizes  $b_{jm}$  which are logging in. (4). Thus, steady state of the system is generally described by the solution of the system of the nonlinear equations (4) and boundary-value problems of differential equations.

The considered system is separated into three parts: the gas phase with possible deposits of the besieged (condensed) phases of individual substances, the thin near-surface zone which corresponds to the substance adsorbed by the surface and solid solution behind the phase boundary. The model received above allows to describe solution as the perfect gas (approach which works in many cases, especially at low impurity concentrations, besides, not ideality can be considered introduction of activities that is quite trivial within this model). Therefore it is easy to broadcast the description of transfer in the gas phase on the description of distribution of impurity in the solid body, having considered it also as set of unit cells. For this purpose it is necessary to write the condition for approval of two parts of the system for the decision of differential schemes of differential equations (13) and (12).

Let's consider the interphase boundary. Let's consider at the same time that the interphase boundary passes on border between  $\sigma$  and  $\sigma+1$  a cell. The cell has to correspond to a layer thickness of h of an adsorbed gas. The following cell ( $m=\sigma+1$ ) corresponds to a near-surface layer of a solid body  $h_1$  thickness. As both phases differ with chemical composition, on border diffusion constants suffer jump. At the same time, as penetration of a diffusant goes through an adsorption stage, for substance flows at the left and on the right surfaces for the same substance in a type of the principle of detailed balance the ratio has to be carried out:

$$D_- \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_- = D_+ \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_+, \quad (14)$$

where  $D_-$ ,  $D_+$  – diffusion constants for this substance in gas and in a solid body of the same substance. Having separated both parts (14) on  $D_+$  and, having used determination of amount of atoms in  $b_{jm}$  cell, we receive a ratio for the near-surface site:

$$\frac{\partial b_j}{\partial x} \Big|_+ = \sum_i a_{ji} \frac{D_-}{D_+} \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_-. \quad (15)$$

If to enter differential operators  $\Delta^+$  and  $\Delta^-$  defined as finite differences

$$\Delta_- y = y_\sigma - y_{\sigma-1}, \quad \Delta_+ y = y_{\sigma+1} - y_\sigma, \quad (16)$$

then (13) it is possible to write down in the form of the differential scheme:

$$\Delta_+ b_j = \frac{h}{h_1} \sum_i a_{ji} \frac{D_-}{D_+} \Delta_- b_j. \quad (17)$$

Considering  $n, c$  as functions of coordinate  $x$ , we will substitute expression (10) in (14), having expressed the last in terms of finite differences (16). After some transformations we will receive:

$$\frac{D_- h_1}{D_+ h} \left( 1 - \frac{P_{\sigma-1}}{P_\sigma} \exp(-\sum_i a_{ji} \Delta_- \lambda_j + \Delta_- \phi_i + \Delta_- c_i) \right) = \frac{P_{\sigma+1}}{P_\sigma} \exp(\sum_i a_{ji} \Delta_+ \lambda_j - \Delta_+ \phi_i - \Delta_+ c_i) - 1. \quad (18)$$

Thickness of layers of  $h$  and  $h_1$  are chosen so that cells  $\sigma$  and  $\sigma+1$  could be considered in mutual thermodynamic equilibrium separately from volume, that is would become possible to apply to them a condition of equality of chemical potentials which in this case can be formulated through the parameters  $\lambda_{jm}$  making sense of chemical potential on atom in a look:

$$\lambda_{j\sigma} = \lambda_{j\sigma+1} \quad (19)$$

Neglecting composed under an exponent in comparison with 1 and considering that the total quantity of substance in a cell  $P_\sigma$  is proportional to its size and also a ratio (19) from (18) we receive the equation:

$$\frac{P_{\sigma+1}}{P_\sigma} \exp(-\Delta_+ \phi_i - \Delta_+ c_i) = 1 + \frac{D_-}{D_+} \frac{h_1}{h} \left( 1 - \frac{\Delta x}{h} \right). \quad (20)$$

As a rule, the cell size in a gas phase  $\Delta x > h$  and therefore that the equation (20) had the decision, has to will be executed a ratio

$$\left| \frac{D_-}{D_+} \frac{h_1}{h} \left( 1 - \frac{\Delta x}{h} \right) \right| < 1, \quad (21)$$

$h$  reached by selection,  $h_1$  and  $\Delta x$ . Then we receive expression for jump of size  $\phi_{im}$  on border:

$$\Delta_+ \phi_i \approx \ln \frac{P_{\sigma+1}}{P_\sigma} - \Delta_+ c_i - \frac{D_-}{D_+} \frac{h_1}{h} \left( 1 - \frac{\Delta x}{h} \right) \quad (22)$$

or, neglecting last composed in (22) rather others we will receive:

$$\Delta_+ \phi_i \approx \ln \frac{P_{\sigma+1}}{P_\sigma} - \Delta_+ c_i. \quad (23)$$

Thus, the stationary state of a chemical heterophase system caused by a point source of perturbation of chemical composition is described by means of minima of the functionalities of a look (4) corresponding to the shift of a Gibbs free energy from equilibrium value in unit cells of a system which distribution on a system is described by differential equations of a look (8). Influence of border, is considered by introduction of jump of shift (23) for approval of a mass transfer in a gas and condensed phase.

At the same time due to consideration of zones (unit cells), border to a phase boundary, not only dissolution of impurity in a solid body, but the sorption phenomena is described. It is important to note in this sense that the size  $\Delta_+ c_i$  corresponding to jump of free energy a surface – solution describes change of energy of an unbound particle in the course of implementation in surface layers of a solid body

**Results of modeling and discussion.** Results of calculations for the above-mentioned algorithm for the sequence of temperatures are given in Table 1 and on graphics (fig. 1) in the form of dependence of concentration of copper on concentration of hydrogen. Atomization of hydrogen was modelled by temperature increase.

Table 1

Composition of the system

p, atm	T, K	H2 GAS, atm	H GAS, atm	GE GAS, atm	GE SOL, mol	H in GE, mol	Cu in GE, molar shares	Cu film
1.E-05	300	1.00E-05	1.25E-33	2.16E-03	2.00	1.52E-29	3.80E-18	5.00E-01
	350	1.00E-05	3.38E-28	2.25E-85	2.00	9.24E-26	1.17E-15	5.00E-01
	400	1.00E-05	4.05E-24	2.55E-72	2.00	6.31E-23	8.60E-14	5.00E-01
	450	1.00E-05	6.09E-21	1.95E-62	2.00	1.01E-20	2.43E-12	5.00E-01
	500	1.00E-05	2.13E-18	1.08E-54	2.00	5.79E-19	3.53E-11	5.00E-01
	550	1.00E-05	2.59E-16	1.81E-48	2.00	1.59E-17	3.15E-10	5.00E-01
	600	1.00E-05	1.42E-14	2.36E-43	2.00	2.49E-16	1.95E-09	5.00E-01
	650	1.00E-05	4.24E-13	4.49E-39	2.00	2.56E-15	9.12E-09	5.00E-01
	700	1.00E-05	7.81E-12	1.92E-35	2.00	1.87E-14	3.42E-08	5.00E-01
	750	1.00E-05	9.79E-11	2.54E-32	2.00	1.05E-13	1.08E-07	5.00E-01
800	1.00E-05	8.98E-10	1.31E-29	2.00	4.72E-13	3.02E-07	5.00E-01	

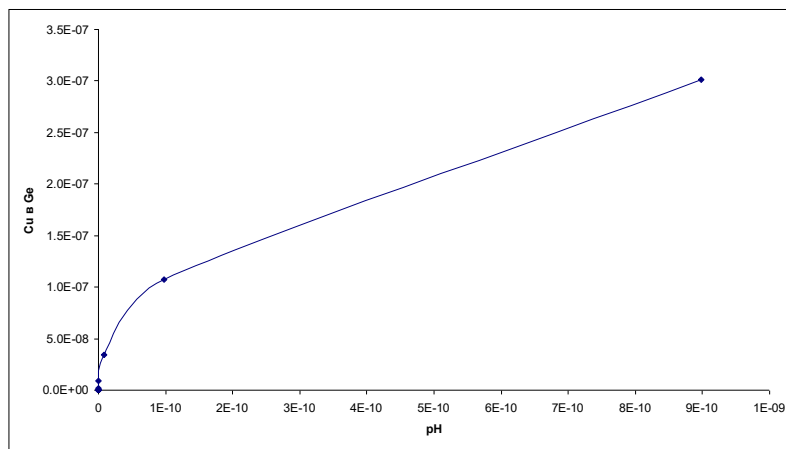


Fig. 1. Dependence of concentration of copper on the partial pressure of hydrogen

Let's apply the model received above to the one-dimensional problem of the recombination of atomic hydrogen on reactor walls the radius of  $r$  and long  $L$  at the set shift and recombination coefficients  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  on reactor walls and on the sample respectively. And for simplicity we will not consider influence of structure of the sample on gas, and we will consider distribution of atomic hydrogen.

For this task the right part of differential equation (11)  $F = \frac{\gamma V n}{2r}$  therefore from (12) we receive  $\omega = \frac{\gamma V}{2rD}$ . As a result of numerical experiments it is revealed that the  $f(x)$  and  $g(x)$  functions are small therefore at (11) it is possible to rewrite in the look

$$-\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \right)^2 = \omega_i$$

(analytical solution of which could be easily received).

Calculations of the reactor  $L=0.25\text{m}$ ,  $r = 0.0125\text{ m}$ ,  $p=10$  containing hydrogen with the pressure were made 4 atm, and average temperature of  $T=600\text{K}$ . Dependences for different values of recombination coefficients on the sample are by results constructed. At the same time the recombination coefficient on walls was accepted by equal  $10^{-3}$ .

For comparison calculations for the formulas received at the analytical solution of differential equation (11) at the same coefficients were carried out:

$$\frac{n}{n_0} = \frac{k \operatorname{ch} k(L-x) + \beta \operatorname{sh} k(L-x)}{k \operatorname{ch} kL + \beta \operatorname{sh} kL}, \quad k = \sqrt{\omega}, \quad \beta = \gamma_2 / 4D.$$

Calculation results are given Tab. 2. and Tab. 3.

Table 2

x, m	n(x)/n <sub>0</sub>	n <sub>etalon</sub> (x)/n <sub>0</sub>
0.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
1.30E-02	9.08E-01	9.08E-01
2.50E-02	8.25E-01	8.24E-01
3.80E-02	7.50E-01	7.48E-01
5.00E-02	6.82E-01	6.80E-01
6.30E-02	6.21E-01	6.18E-01
7.50E-02	5.66E-01	5.62E-01
8.80E-02	5.16E-01	5.12E-01
1.00E-01	4.71E-01	4.67E-01
1.10E-01	4.31E-01	4.26E-01
1.30E-01	3.95E-01	3.89E-01
1.40E-01	3.63E-01	3.56E-01
1.50E-01	3.34E-01	3.27E-01
1.60E-01	3.09E-01	3.00E-01
1.80E-01	2.86E-01	2.77E-01
1.90E-01	2.67E-01	2.56E-01
2.00E-01	2.50E-01	2.38E-01
2.10E-01	2.35E-01	2.22E-01
2.30E-01	2.22E-01	2.08E-01
2.40E-01	2.12E-01	1.96E-01

Table 3

x, m	n(x)/n <sub>0</sub>	n <sub>etalon</sub> (x)/n <sub>0</sub>
0.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
1.30E-02	9.03E-01	9.04E-01
2.50E-02	8.15E-01	8.16E-01
3.80E-02	7.34E-01	7.37E-01
5.00E-02	6.61E-01	6.64E-01
6.30E-02	5.94E-01	5.98E-01
7.50E-02	5.33E-01	5.38E-01
8.80E-02	4.77E-01	4.83E-01
1.00E-01	4.26E-01	4.32E-01
1.10E-01	3.78E-01	3.86E-01
1.30E-01	3.35E-01	3.44E-01
1.40E-01	2.95E-01	3.05E-01
1.50E-01	2.57E-01	2.68E-01
1.60E-01	2.23E-01	2.35E-01
1.80E-01	1.90E-01	2.04E-01
1.90E-01	1.59E-01	1.74E-01
2.00E-01	1.30E-01	1.47E-01
2.10E-01	1.03E-01	1.20E-01
2.30E-01	7.65E-02	9.54E-02
2.40E-01	5.15E-02	7.12E-02

Thus, the author relying on methods of thermodynamics has received the dependence describing dissolution of copper in the semiconductor under the influence of atomized hydrogen. It is proved that with a growth of atomization of monohydrogen the number of copper quantity of atoms, diffused in a substrate, grows. The simple formula (8) describing concentration of superequilibrium copper in Germany is received. The received model can be expanded on the basis of a hypothesis of local balance on a diffusion picture if to consider the sample thickness as a set of elementary cells.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Wenxiao Hu, Kai Chen, Tao Tao, et all. High-rate growth of single-crystal diamond with an atomically flat surface by microwave plasma chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*. 2022. Nanjing, China. Vol. 763.
2. Lantos P.V., Jonson N.M., Street R.A. Light-enhanced hydrogen motion in SiH. *Phys. Rev. Lett.* 1991. Vol 67. no. 19.
3. Lavrenko V.A., Podchernyaeva I.A., Shchur D.V., Zolotareno A.D., Zolotareno, A.D. Features of Physical and Chemical Adsorption During Interaction of Polycrystalline and Nanocrystalline Materials with Gases. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. Ukraine, 2018. Vol. 56, Issue 9–10. P. 504–511.
4. Юрченко І.О., Авраменко А.І., Щербак М.О. Фізична та колоїдна хімія Physical and colloidal chemistry. Ukraine : «Магнолія 2006», 2021. 950 с.
5. Boll R.H. Calculation of complex equilibrium with an unknown Number of Phases. *Journ. Chem. Phys.* Vol. 34, 1960. P. 1108–1110.
6. Sancier K.M., Morrison S.R. Wisendanger H.V.O. Catalysis and chemical reaction rat of hydrogen atom with germanium. *J. Catalysis*. 1966. Vol. 5. № 2. P. 361–365.
7. Maffiet W. Series solutions of nonlinear coupled reaction diffusion equations. *J. Phys. Appl.* № 23. 1991. P. 5499–5503.
8. Jacucci G., Poseth M. Monte Carlo calculation of latticevacancies by the method of overlapping distribution. *Solid State Comm.* 1980. Vol. 33, 11. P/ 35–37.
9. Anderson J.O., Agen J. Models for numerical treatment of multicomponent diffusion in simple phases. *Appl. Phys.* Vol. 72, 1992. № 4. P. 1350–1353.
10. Wise H., Wood B.J. Reactive collision between gas and surface atoms. *Adv. at. and mol. Phys.* 1967. Vols. 3. P. 290–353.
11. Model calculations for hydride nucleations on oxide-coated metallic surfaces. *J. alloys and Compounds*. 1992. Vol. 1. P. 11–23.
12. Johnson N.M., Doland C., Ponce F. Hydrogen in crystalline semiconductors. A review of experimental results. *Physica B*. 1991. Vol. 1–4. № 3–20. P. 3–20.
13. De Groot, Masur S. *Nonequilibrium thermodynamics*. USA: Courier Corporation. 1984. P. 510.
14. De Groot. About thermodynamics irreversible heat and a mass exchange. *Heat and mass transfer*. Минск : Наука и технологии. 1965. P. 63–70.
15. Bumstead H. A., Gibbs J. W. *Scientific Papers of J. Willard Gibbs*. 2015. Thermodynamics. USA : Creative Media Partners, LLC.
16. Lopushanskaya A.M. (Ed.). Thermodynamics of irreversible processes : *Sci. works*. 1992. Ukraine : Academy of Sciences of the USSR of IOHRAN.
17. Раман Б.В. Механизм и кинетика сложных реакций. / Київ : Металургия, 1970.
18. Kressel G., Nelson G. In book: *Physics of thin films*. Київ, Наукова думка dumka, 1982. С. 79–144.
19. Kröger F. *The Chemistry of Imperfect Crystals: Imperfection chemistry of crystalline solids*. 1973. Holland : North-Holland Publishing Company.

## REFERENCES:

1. Wenxiao Hu, Kai Chen, Tao Tao, etc. (2022). High-rate growth of single-crystal diamond with an atomically flat surface by microwave plasma chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*. (Vols 763). Nanjing, China.
2. Lantos, P.V., Jonson, N.M., Street, R.A. (1991). Light-enhanced hydrogen motion in SiH. *Phys. Rev. Lett.* (Vol 67, no. 19).
3. Lavrenko, V.A., Podchernyaeva, I.A., Shchur, D.V., Zolotareno, A.D., Zolotareno, A.D. (2018). Features of Physical and Chemical Adsorption During Interaction of Polycrystalline and Nanocrystalline Materials with Gases. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. (Vols 56, Issue 9–10), (pp. 504–511), Ukraine.
4. Yurchenko, I.O., Avramenko, A.I., Scherbak, M.O. (2018). *Fizychna ta koloidna khimiia [Physical and colloidal chemistry]*. Ukraine: “Magnolia 2006».
5. Boll, R.H. (1960). Calculation of complex equilibrium with an unknown Number of Phases. *Journ. Chem. Phys.* (Vols. 34).
6. Sancier, K.M., Morrison, S.R. (1966). Wisendanger H.V.O. Catalysis and chemical reaction rat of hyrogen atom with germanium. *J. Catalysis*. (Vols. 5, № 2), (pp. 361–365).
7. Mafliet, W. (1991). Series solutions of nonlinear coupled reaction diffusion equations. *J. Phys. Appl.* (№ 23), (pp. 5499–5503).
8. Jacucci, G., Poseth, M. (1980). Monte Carlo calculation of latticevacancies by the method of overlapping distribution. *Solid State Comm.* (Vols. 33, 11), (pp. 35–37).
9. Anderson, J.O., Agen, J. (1992). Models for numerical treatment of multicomponent diffusion in simple phases. *Appl. Phys.* (72, № 4), (pp. 1350–1353).
10. Wise, H., Wood B.J. (1967). Reactive collision between gas and surface atoms. *Adv. at. and mol. Phys.* (Vols. 3), (pp. 290–353.)
11. Model calculations for hydride nucleations on oxide-coated metallic surfaces. (1992). *J. alloys and Compounds.*, № 1, (pp. 11–23)
12. Johnson, N.M., Doland, C., Ponce, F. (1991). Hydrogen in crystalline semiconductors. A review of experimental results. *Physica B.* (1–4. no 3–20.)
13. De Groot, Masur, S. (1984). *Nonequilibrium thermodynamics*. USA: Courier Corporation.
14. De Groot. (1965). About thermodynamics irreversible heat and a mass exchange. *Heat and mass transfer*. Minsk: Science and technology. t. 2.
15. Bumstead, H. A., Gibbs, J. W. (2015). *Scientific Papers of J. Willard Gibbs Thermodynamics*. USA: Creative Media Partners, LLC.
16. Lopushanskaya A.M. (Ed.). (1992). Thermodynamics of irreversible processes: *Sci. works*. Ukraine: Academy of Sciences of the USSR of IOHRAN.
17. Raman, B.V. Mechanisms and kinetics of complex reactions. Kyiv: Metallurgy. 1970.
18. Kressel, G., Nelson, G. (1982). In book: *Physics of thin films. t.7: the lane with English*. Kyiv, Ukraine: Naukova dumka (pp. 79 Kyiv 144).
19. Kröger, F. (1973). *The Chemistry of Imperfect Crystals: Imperfection chemistry of crystalline solids*. Holland: North-Holland Publishing Company.

УДК 519.6:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.14>

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСОБІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМІ MATLAB

**Тихоход В. О.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри цифрових технологій в енергетиці  
Навчально-наукового інституту атомної і теплової енергетики  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: 0000-0002-1525-4770

Система комп'ютерної математики MATLAB надає багато можливостей для проведення різних досліджень. Однак в ній відсутні штатні засоби вирішення інтегральних рівнянь та їх систем. Числові реалізації систем інтегральних рівнянь Вольтера характеризуються значною кількістю обчислень та можуть вимагати великих масивів даних для збереження результатів обчислень, що вимагає оптимального використання пам'яті та максимально ефективно організації обчислень у модулях MATLAB. В роботі систематизовано підходи до створення модулів розширення системи MATLAB для обчислювальних задач різноманітного спрямування, описано шляхи побудови ефективних модулів за критеріями оптимізації використання пам'яті та швидкодії обчислень. Запропоновано процедуру виконання досліджень інтегральних моделей динамічних систем з використанням функцій MATLAB та описано сконструйовані модулі для розв'язання інтегральних рівнянь Вольтера та їх систем прямими методами наближеного розв'язання. Вони полягають у приведенні інтегральних рівнянь до більш простих рівнянь і систем, наприклад, систем лінійних алгебраїчних рівнянь, і подальшому вирішенні цих більш простих рівнянь. Описано способи представлення вихідних даних інтегральних моделей в системі MATLAB, що передбачають два способи опису вихідних структур: у табличній та аналітичній формі. Описано способи верифікації даних в середовищі MATLAB, що дозволяють забезпечити прогнозовану поведінку модулів та уникнути непередбачених ситуацій. Запропоновані в роботі рішення та рекомендації до побудови функцій в системі MATLAB знайшли застосування при побудові засобів дослідження інтегральних моделей у формі інтегральних рівнянь Вольтера. На прикладі реалізації методів квадратур та колокації до розв'язання інтегральних рівнянь показано особливості організації програмних модулів на мові програмування, що вбудована в систему MATLAB. Розробленим засобам характерно максимальне використання матрично-векторних обчислень, оптимальне використання пам'яті та безпечна перевірка та обробка коректності даних.

**Ключові слова:** функції MATLAB, прямі методи розв'язання, інтегральні рівняння Вольтера, засоби розв'язання інтегральних рівнянь, верифікація, векторно-матричні обчислення.

### **Tykhokhod V. O. Features of the implementation of integral models research tools in the MATLAB system**

The computer mathematics system MATLAB provides many opportunities for conducting various studies. However, it lacks inbuilt tools of solving integral equations and their systems. Numerical implementations of systems of Volterra integral equations require a significant number of calculations and may require large data sets to store the results of calculations, which requires optimal use of memory and the most efficient organization of calculations in MATLAB modules. The work systematizes approaches to creating modules for the MATLAB system expansion for computational tasks of various directions, describes the ways of building efficient modules according to the criteria of memory optimization and calculation speed. The procedure for conducting studies of integral models of dynamic systems using MATLAB functions is proposed and the designed modules for solving Volterra integral equations and their systems by direct methods of approximate solution are described. They consist in reducing integral equations to simpler equations and systems, for example, systems of linear algebraic equations, and further solving these simpler equations. Methods of presenting the initial data of integral models in the MATLAB system are described, which involve two



*ways of describing the initial structures: in tabular and analytical form. Methods of data verification in the MATLAB environment are described, which allows you to ensure the predicted behavior of modules and avoid unforeseen situations. The solutions and recommendations for the construction of functions in the MATLAB system proposed in the work were used in the construction of tools for the study of integral models in the form of Volterra integral equations. On the example of the implementation of quadrature and collocation methods for solving integral equations, the peculiarities of the organization of program modules in the programming language built into the MATLAB system are shown. The developed tools are characterized by maximum use of matrix-vector calculations, optimal use of memory, and safe verification and processing of data correctness.*

**Key words:** *MATLAB functions, direct methods, Volterra integral equation, tools for solving integral equations, verification, vector-matrix calculations.*

**Вступ.** Інтегральні рівняння Вольтера відносяться до класу непараметричних динамічних моделей [1], що найбільш ефективно описують процеси та об'єкти, задані динамічними характеристиками своїх елементів. Зокрема, опис динамічних систем на основі інтегральних рівнянь знайшов застосування в таких задачах динаміки як аналіз, дослідження та проектування систем керування, елементами яких є ланки з розподіленими параметрами. Інтегральний метод опису має такі позитивні якості як зручність та компактність математичного опису динамічних систем; високий рівень універсальності моделей; досить висока стійкість методів числової реалізації інтегральних залежностей.

На сучасному етапі існує ряд комп'ютерних програмних систем та пакетів програм для автоматизації математичних розрахунків, серед яких однією з найбільш універсальних та розвинутих є система комп'ютерної математики MATLAB [2]. Вона забезпечує автоматизацію математичних розрахунків, її основною характеристикою є вбудована підтримка матричних операцій.

Архітектура MATLAB дозволяє легко модифікувати та розширювати систему, що призвело до створення значної кількості пакетів прикладних програм (toolbox) для різних сфер науки і техніки. Це розширення досягається природним шляхом і реалізується в формі так званих *m*-файлів (з розширенням *.m*), що містять код програм на мові програмування MATLAB. Проте, попри розвиток та поширення на різні області, мало уваги приділяється реалізації апарату інтегральних рівнянь та їх систем. Наявність програмних засобів, які забезпечують вирішення завдань дослідження багатозв'язних динамічних систем на основі розв'язання систем інтегральних рівнянь, дозволяє значно розширити клас задач динаміки, що вирішуються комп'ютерними засобами. Проте особливості вбудованої мови програмування та інфраструктури системи MATLAB вимагають застосування спеціальних підходів для побудови ефективних програм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням комп'ютерної реалізації прямих методів наближеного розв'язання інтегральних рівнянь Вольтера присвячено різні роботи, зокрема [1; 3], їх систем – роботи [4; 5]. Але в існуючих роботах не розкриті питання конструювання ефективних модулів дослідження інтегральних моделей в системі MATLAB з врахування вбудованих можливостей системи моделювання та особливостей даного типу моделей.

**Мета.** У зв'язку з цим робота присвячена систематизації підходів до створення ефективних модулів розширення системи MATLAB для дослідження інтегральних моделей динамічних систем шляхом розв'язання інтегральних рівнянь та їх систем.

**Прямі методи наближеного розв'язання інтегральних рівнянь.** У загальному випадку система інтегральних рівнянь (CIP) записується у формі:

$$g_i(x)y_i(x) - \lambda \sum_{j=1}^n \int_{\Omega_j} K_{ij}(x,s)y_j(s)ds = f_i(x), x \in Q_i, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

де  $K(x,s)$  – ядра СР,  $f(x)$  – права частина рівняння з областю визначення  $Q$ ,  $\lambda$  – параметр рівняння,  $y(s)$  – шукана функція з областю визначення  $\Omega$ , що може бути змінною або постійною, одновимірною та багатовимірною. Функції  $K(x,s)$ ,  $f(x)$ ,  $g(x)$ , параметр  $\lambda$  та області  $Q$  та  $\Omega$  вважаються заданими, а функція  $y(s)$  – шуканою. У випадку змінної області визначення  $\Omega$  рівняння (1) є рівнянням Вольтера, при постійній області інтегрування мають справу з рівняннями Фредгольма. При  $g(x)=0$  рівняння (1) є рівнянням I роду, при  $g(x) \neq 0$  рівняння (1) є рівнянням II роду. Параметр  $i$  в рівнянні (1) вказує на кількість невідомих функцій, при  $i > 0$  отримується система інтегральних рівнянь з кількістю рівнянь, що відповідає кількості невідомих функцій.

До основних традиційних методів наближеного розв'язання інтегральних рівнянь відносяться прямі методи. Вони полягають у приведенні інтегральних рівнянь до більш простих рівнянь і систем, наприклад систем лінійних алгебраїчних рівнянь, і подальшому вирішенні цих більш простих рівнянь. При розв'язанні інтегральних рівнянь Вольтера змінна верхня межа інтегрування, що характерна для цього типу рівнянь, в точках апроксимаційної сітки фіксується та виконується обчислення визначених інтегралів.

До прямих методів розв'язання інтегральних рівнянь та їх систем, зокрема, відносяться метод квадратур та метод колокацій. При числовій реалізації лінійних інтегральних рівнянь типу Вольтера II роду методом квадратур використовується [3] вираз:

$$\sum_{j=1}^m y_j^{(i)} (a_{rj} - K_{rji}^{(i)} A_i) = f_r^{(i)} + \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^{i-1} K_{rji}^{(l)} y_j^{(l)} A_l, \quad (2)$$

де

$$K_{rji}^{(l)} = K_{rj}(x_i, x_l), \quad y_j^{(l)} = y_j(x_l), \quad f_r^{(i)} = f_r(x_i),$$

$A_l$  – коефіцієнти квадратурної формули.

При розв'язанні систем лінійних інтегральних рівнянь типу Вольтера I роду методом колокацій з використанням кусково-гладких поліномів використовують [4] обчислювальний вираз

$$\sum_{j=1}^n \int_{x_{k,0}}^{x_{k,v}} K_{rij}(x_{k,v}, s) P_{j,k}(s) ds = f_{r,i}(x_{k,v}) - \psi_{r,i,k}(x_{k,v}), \quad (3)$$

де

$$\begin{aligned} \psi_{r,i,k}(x_{k,v}) = & \sum_{j=1}^n \int_a^{x_{1,0}} K_{rij}(x_{x,v}, s) P_{j,0}(s) ds + \\ & + \sum_{j=1}^n \int_{x_{1,0}}^{x_{2,0}} K_{rij}(x_{x,v}, s) P_{j,1}(s) ds + \dots + \\ & + \sum_{j=1}^n \int_{x_{k-1,0}}^{x_{k,0}} K_{rij}(x_{x,v}, s) P_{j,k-1}(s) ds, k = \overline{1, M-1}, v = \overline{1, l}. \end{aligned}$$

Після заміни в рівняннях (2) та (3) виразів обчисленими значеннями отримують системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), розв'язок яких є значення функцій  $y_r$  в точках  $x_i$ .

**Можливості MATLAB для розв'язання інтегральних рівнянь.** При розробці та проектуванні складних технічних систем з великою ефективністю застосовують комп'ютерні системи моделювання. Такі системи надають великий набір функцій, реалізують різні методи числового моделювання. Система MATLAB є однією з найбільш розвинутих, але в ній відсутні засоби розв'язання інтегральних рівнянь. Розширення MATLAB такими засобами потребує аналізу можливостей, що можуть бути використані для розв'язання інтегральних рівнянь.

До основних переваг MATLAB [5] відносяться: модульна структура, яка дозволяє розширювати можливості системи шляхом включення нових програмних модулів, зокрема написаних користувачем; внутрішню мову програмування, що орієнтована на операції у векторно-матричній формі; інтерпретатор, що дозволяє зручно виконувати команди та одразу отримувати їх результат; потужну систему візуалізації результатів досліджень.

Підтримка матрично-векторних обчислень полягає в тому, що дані в MATLAB можна представляти як матриці та вектори, а операції над цими структурами даних можна виконувати у векторизованому вигляді. Це забезпечує простоту та виразність синтаксичної структури за рахунок використання операторних команд для виконання операцій над матрицями та векторами, що роблять код більш читабельним, коротким та ефективним; швидкість виконання за рахунок використання алгоритмів та бібліотек, оптимізованих під векторизовані обчислення; підтримка лінійної алгебри, в основі якої лежать матрично-векторні обчислення.

Окрім простих операцій над векторами та матрицями, також MATLAB підтримує різні операції агрегування та перетворення матриць, серед яких: *length* – повертає довжину вектора, *size* – функція, що повертає розмірність масиву за заданим виміром, *sum* – підраховує суму елементів масиву чи вектору, *max*, *min* – функції, що шукають максимальний та мінімальний елементи масиву чи вектору, *\** операція поелементного добутку.

Програмні модулі, або програми, у MATLAB представляються у формі функцій. У MATLAB є ряд функцій для числового інтегрування, зокрема: *integral* – обчислення інтегралів одновимірних функцій за допомогою різних методів, таких як квадратура Гауса, квадратура трапецій та інші; *integral2* – обчислення подвійних інтегралів адаптивним алгоритмом; *integral3* – обчислює потрійні інтеграли адаптивним алгоритмом; *quad* – інтегрування методом низького порядку, використовуючи рекурсивне правило Симпсона; *quadl* – використовує адаптивне правило квадратури Гауса-Лобато дуже високого порядку; *quads* – інтегрування за допомогою квадратурних формул Ньютона-Котеса 8-го порядку; *trapz* – обчислення визначеного інтеграла методом трапецій; *dblquad* – обчислює значення подвійного інтеграла для підінтегральної функції, за замовчанням використовуючи квадратурну функцію *quad*; *cumtrapz* – обчислення кумулятивного інтегралу методом трапецій

Як було сказано вище, при застосуванні прямих методів розв'язання інтегральних рівнянь в кожній точці апроксимаційної сітки отримується СЛАР, що потрібно вирішити методами лінійної алгебри. У MATLAB вбудовано ряд функцій, що реалізують різні алгоритми розв'язання СЛАР. Деякі засоби розв'язання СЛАР, що представлені в системі MATLAB у матричному вигляді  $AX=B$ , наведено в таблиці 1. Вибір конкретного методу залежить від вимог до точності та швидкості алгоритмів та програм та від характеру даних в матрицях.

Таблиця 1

## Деякі функції розв'язання СЛАР, вбудовані в MATLAB

Числовий метод	Функція Matlab
Метод оберненої матриці	Розв'язання здійснюється шляхом знаходження оберненої матриці функцією $inv$ та її добутку на $B$ : $x=inv(A)*B$
Методи розв'язання на основі розкладання матриці	$[L, U]=lu(A)$ – виконує LU-розклад, $[Q, R]=qr(A)$ – виконує QR-розклад, $R=chol(A)$ – здійснює розклад Холецького, $[U, S, V]=svd(A)$ – метод сингулярного розкладу (SVD).
Метод спряжених градієнтів	$X=cgs(A, B)$

Для розв'язання СЛАР в MATLAB рекомендовано застосовувати оператор лівого ділення « $\backslash$ » (наступним чином:  $x=A/B$ ) або еквівалентну їй функцію  $mldivide$  та  $linsolve$ , які автоматично обирають найкращий метод розв'язання з врахуванням характеристик матриць. Алгоритми вибору конкретного методу розв'язання, який реалізований в методах  $mldivide$  та  $linsolve$  описано в [5] та [6] відповідно.

**Побудова ефективних модулів MATLAB.** Побудова ефективних користувачьких модулів високої споживачької якості передбачає дотримання наступних критеріїв: дотримання простоти та зручності формування вихідних даних; організація максимальної швидкодії обчислень; представлення результатів обчислень в зручній та зрозумілій формі; обробка виключних ситуацій та індикація процесу обчислень.

Розглянемо побудову модулів MATLAB для розв'язання СІР прямими методами наближеного розв'язання.

Для простоти та зручності формування вихідних даних для функцій розв'язування СІР передбачені різні інтерфейси взаємодії, які передбачають різну кількість аргументів функції. Наприклад, модуль розв'язання СІР методом колокації має такі можливі інтерфейси:

1.  $y=slvie2colloc(x,mm,K,f)$ .
2.  $y=slvie2colloc(x,mm,K,f,y0)$ .
3.  $y=slvie2colloc(x,mm,K,f,y0,B)$ .

Вхідними параметрами програми є:  $x, mm, K, f, y0, B$ , де  $mm$  – степінь полінома, інші параметри описані в таблиці 2.

Якщо кількість аргументів менша за кількість параметрів функції, відсутні аргументи приймають значення за замовчуванням. Основні параметри функцій, відповідні їм позначення та значення за замовчуванням описані в таблиці 2.

Таблиця 2

## Опис та характеристики основних параметрів функцій

Позначення	Формат	Опис	Значення за замовчуванням
1	2	3	4
$x$	вектор-рядок	сітка вузлів, на якій необхідно знайти розв'язки системи	–
$a$	число	ліва границя відрізка інтегрування	–
$b$	число	права границя відрізка інтегрування	–

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4
$n$	число	довжина вектора $x$ , кількість точок розбиття	–
$m$	число	розмірність СІР	–
$h$	число	початковий крок інтегрування	0.1
$f$	вектор-рядок	права частина СІР у вигляді вектора анонімних функцій	–
$f$	масив $m \times n$	права частина системи інтегральних рівнянь у табличному вигляді	–
$K$	масив $m \times m$	масив ядер системи інтегральних рівнянь у вигляді анонімних функцій	–
$K$	масив $m \times m \times n \times n$	масив ядер системи інтегральних рівнянь, представлених у табличному вигляді (перші дві розмірності – номер ядра системи, третя та четверта розмірності – номер вузла)	–
$B$	масив $m \times m$	масив значень коефіцієнтів при $y_r, r = 1, m$ . Використовується у випадку СІР Вольтера II роду	діагональна матриця розмірності $m$ з одиничними елементами на головній діагоналі,
$E$	число	значення похибки обчислень	$10^{-3}$
$x0$	вектор-рядок	точки $x_r$ , у яких задані «розгінні» значення шуканих функцій	$f(a)$ для СІР Вольтера II роду
$y0$	двовимірний масив	початкові («розгінні») значення шуканих функцій $y_r(x)$ , що задані в довільній кількості точок $x_i$	вектор розмірності $m$ , елементи якого набувають значення правих частин $f(a)$

У програм розв'язання СІР Вольтера II роду можливі два види інтерфейсу, який залежить від виду вихідної СІР: для систем з постійною матрицею коефіцієнтів при у необхідно ввести масив коефіцієнтів і вектор початкових умов  $y0$ , для систем з одиничною матрицею коефіцієнтів ці два параметри передавати необов'язково.

Модулі, призначені для розв'язання на заданій сітці  $x$  розмірності  $n$  в результаті своєї роботи повертають масив розмірності  $m \times n$  значень функцій  $y_l, l = \overline{1, m}$ .

Передбачено два способи вихідних структур ядер та правих частин СІР: у табличній та аналітичній формі. При табличній формі дані передаються на обробку у вигляді сформованих масивів числових даних. При такому поданні даних потрібно більше пам'яті обчислювальної системи, проте витрати машинного часу будуть меншими порівняно з другим підходом. При аналітичній формі ядер і правих частин передбачається формування спеціальних функцій чи файлів, які містять дані у функціональному вигляді. Такий підхід дозволяє заощаджувати пам'ять обчислювальної системи, проте потребує більше часу для обчислень. Форма вихідних даних може залежати від способу синтезу моделей інтегральних рівнянь.

Розглянемо способи представлення вихідних даних інтегральних моделей в системі MATLAB.

1. В аналітичному вигляді ядра можуть представлятися у формі двовимірного масиву, кожна комірка якого є аналітичним описом відповідних ядер СІР.

2. В табличній формі ядра подаються у формі чотирирівимірного числового масиву  $K(i, j, l, m)$ , де  $i, j$  – індекси ядер СІР, а  $l, m$  – індекси точок  $(x(l), x(m))$ ,  $m < l$ .

В модулях MATLAB реалізовано метод опису ядер та правих частин у формі так званих анонімних функцій MATLAB. Анонімна функція двох аргументів  $x$  та  $s$  записується в такому виді:

$$@ (x, s) \varphi(x, s),$$

де  $\varphi(x, s)$  – аналітична функція двох змінних.

Наприклад, праву частину СІР

$$2(1-x)\sin x - \cos x - x + 1$$

можна описати таким чином:

$$@ (x) (2*(1-x).*\sin(x)-\cos(x)-x+1).$$

Для того щоб сформувати вхідні дані в аналітичному представленні, потрібно дотримуватись наступного порядку.

1. Формується функція MATLAB з аргументами, що задають ядра СІР, що повинна мати наступний заголовок:

$$function k=Kern(i, j, x, s)$$

де  $k$  – вихідний масив розмірності  $m*m$ , кожен елемент якого є анонімною функцією від двох змінних  $x$  та  $s$ ; де  $x, s$  – незалежні змінні.

Наприклад, для системи другого порядку ця функція виглядає наступним чином:

$$function k=Kern(i, j, x, s)$$

$$k=\{ \dots$$

$$@ (x, s) (K(1, 1)), @ (x, s) (K(1, 2)); \dots$$

$$@ (x, s) (K(2, 1)), @ (x, s) (K(2, 2)) \dots$$

$$\};$$

де  $K(i, j)$  – аналітична функція, що описує ядро СІР, яке міститься в підінтегральному виразі  $j$ -го інтегралу  $i$ -го рівняння СІР та залежить від змінних  $x$  та  $s$ .

2. Формується функція, що задає праві частини. Вона повинна мати наступний заголовок:

$$function f=F$$

де  $f$  – вихідний масив з розмірністю  $m*1$ , кожен елемент якого є анонімною функцією від змінної  $x$ ;  $x$  – незалежні змінні.

Так, для системи другого порядку відповідна структура виглядатиме так:

$$function f=F$$

$$f=\{ \dots$$

$$@ (x) (fp(1)); \dots$$

$$@ (x) (fp(2)) \dots$$

$$\};$$

де  $fp(i)$  – аналітична функція, що описує праву частину, яка міститься в  $i$ -му рівнянні СІР та залежить від змінної  $x$ .

3. Завантажуємо сформовані на кроці 1 і кроці 2 функції в пам'ять, надавши значення цих функцій будь-яким змінним.

4. Викликається основна програма, якій передаються створені на кроці 3 змінні, а також інші необхідні вхідні дані.

Функції як результат повертають масив розв'язків  $u$ .

Числові реалізації СІР потребують виконання значної кількості обчислень та можуть вимагати великих масивів даних для збереження результатів обчислень, що вимагає оптимального використання пам'яті та максимально ефективної організації обчислень у модулях MATLAB. Враховуючи це та той факт, що мова програмування MATLAB є інтерпретованою, при розробці застосунків MATLAB рекомендується дотримуватись таких загальних рекомендацій :

1. Мінімізувати використання циклів та максимізувати використання матрично-векторних операцій (матричні операції порівняно з циклами інтерпретатор Matlab виконує в десятки та сотні разів швидше).

2. Видаляти з пам'яті непотрібні вже змінні з допомогою функцій *delete* та *clear*.

3. Виконувати попереднє резервування пам'яті в порядку від більших до менших за розміром. Ініціалізацію масивів даних здійснювати з допомогою вбудованих функцій *ones*, *eye* и *zeros*.

Дотримання цих рекомендацій скорочує час розрахунків і зменшує фрагментацію пам'яті в порівнянні з динамічним виділенням пам'яті під масиви.

Функції як результат повертають масив розв'язків  $u$ , розмірність якого за першим виміром відповідає кількості невідомих функцій СІР. Для кожної функції для візуального аналізу отриманих рішень потрібно побудувати графіки. В MATLAB реалізовано потужну систему візуалізації графіків. Ці команди, зокрема, включають: *figure(i)* – активізує вікно графіку з індексом  $i$ , *hold on/off* – вмикає/вимикає відображення сітки у вікні, *set* – встановлення значень властивостей графічного об'єкта, *xlabel*, *ylabel* – налаштування та відображення координатних осей графічного об'єкта, *plot* – будує двовимірний графік, *legend* – конфігурує легенду графіку, *gca* – посилання на поточні осі або діаграму, *clf* – очистка поточної фігури.

**Верифікація вихідних даних.** У відповідності з вимогами до пакетів прикладних програм комп'ютерного моделювання, всі розроблені функції повинні здійснювати перевірку коректності вихідних даних, їх відповідність задачі, а також забезпечувати коректне завершення роботи програми у разі виникнення помилки. Верифікація даних дозволяє забезпечити прогнозовану поведінку модулів та уникнути непередбачених ситуацій.

В середовищі MATLAB існує цілий ряд вбудованих функцій для перевірки типів даних та їх структур. Їх доцільно використовувати для перевірки аргументів функцій на коректність. Призначення деяких з цих функцій має наступний зміст: *nargin* – повертає кількість аргументів заданої функції; *isvector* – визнає, чи задана змінна є вектором; *isempty* – визнає, чи задана змінна є порожнім масивом; *isnumeric* – перевіряє, чи змінна містить числові дані.

Для викидання помилки та відображення повідомлення помилки в MATLAB призначена команда *error*.

**Приклад реалізації модуля розв'язання інтегрального рівняння в MATLAB.** Розглянемо можливу реалізацію модуля розв'язання системи лінійних інтегральних рівнянь Вольтера II роду з використанням методу квадратур за формулами (2) в системі MATLAB з врахуванням вищезгаданих концепцій. Для простоти представлення форму вихідних даних обмежено аналітичним представленням у формі анонімних функцій.

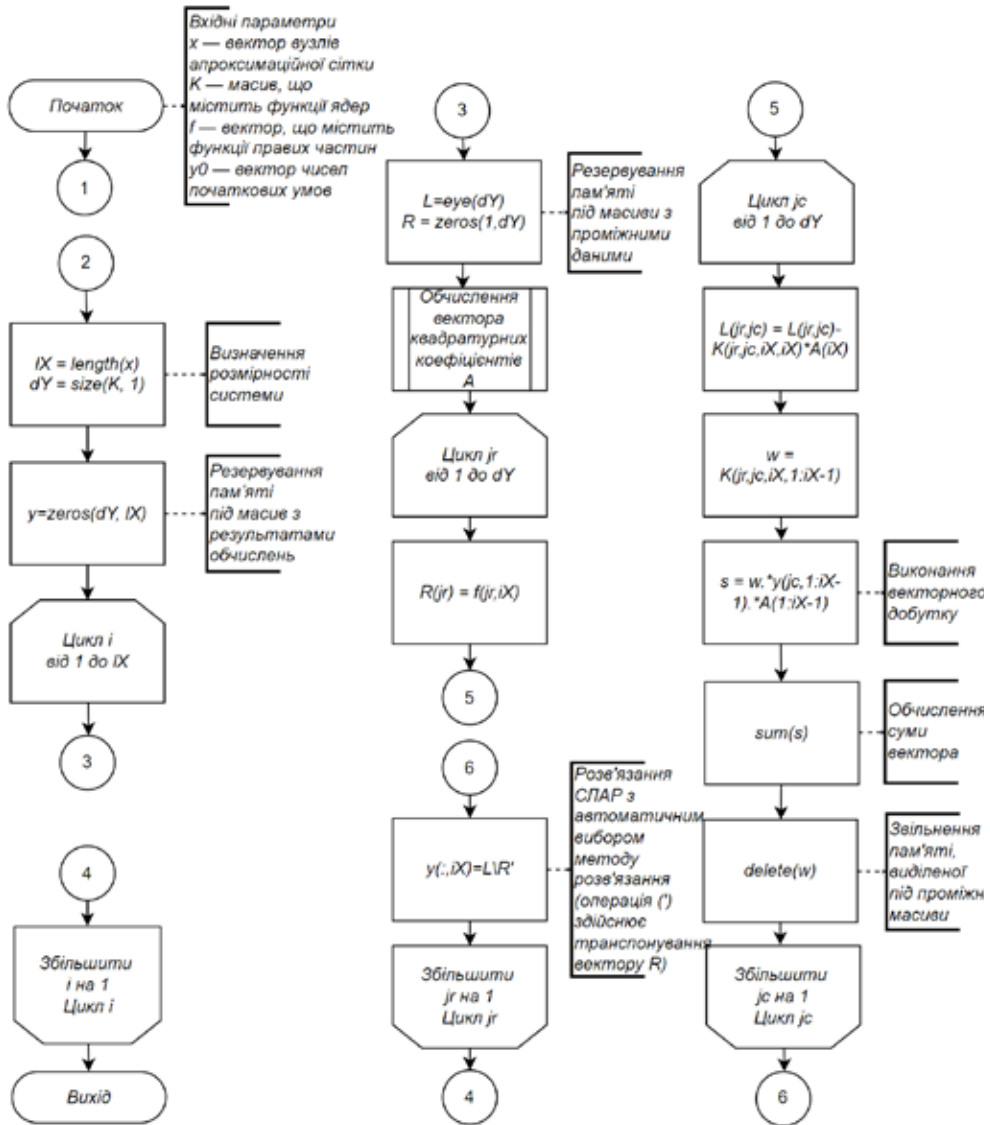


Рис. 1. Алгоритм роботи модуля розв'язання системи лінійних інтегральних рівнянь Вольтера II роду в системі MATLAB





Рис. 2. Алгоритм роботи модуля розв'язання системи лінійних інтегральних рівнянь Вольтера II роду в системі MATLAB (процес перевірки коректності вихідних даних)

**Висновки.** Застосування запропонованих в роботі рішень та рекомендацій до побудови функцій в системі MATLAB дозволяє отримати обчислювальні модулі високої якості за критеріями оптимізації використання пам'яті та швидкодії обчислень, зручності використання та передбачуваності роботи. Ці рішення знайшли застосування при побудові засобів дослідження інтегральних моделей у формі інтегральних рівнянь Вольтера, для розв'язання яких вказані критерії якості є особливо критичними.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Київ : Наукова думка, 1986. 544 с.
2. MATLAB – MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата звернення 29.05.2023). Назва з екрана.
3. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Методы решения интегральных уравнений с программами для ЭВМ. Справочное пособие. 1978. 292 с.
4. Горошко И.О., Тихоход В.А. Компьютерная реализация решения систем интегральных уравнений Вольтерры при исследовании многосвязных динамических объектов. *Электронное моделирование*. 2007. Том. 29. № 3. С. 101–107.
5. Тихоход В. О., Кублій Л. І., Онисько А. І. Дослідження багатозв'язних динамічних систем шляхом розв'язання систем інтегральних рівнянь Вольтера I роду методом колокацій. *Інформаційні технології та суспільство*. 2023. Випуск 1 (7).
6. Solve systems of linear equations  $Ax=B$  for  $x$  – MATLAB mldivide. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/mldivide.html> (дата звернення 29.05.2023). Назва з екрана.
7. Solve linear system of equations – MATLAB linsolve. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/linsolve.html> (дата звернення 29.05.2023). Назва з екрана.
8. MATLAB Performance – MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab/performance.html> (дата звернення 29.05.2023). Назва з екрана.

### REFERENCES:

1. Verlan A.F., Sizikov V.S. (1986) *Intehralnye uravneniya: metody, alhoritmy, prohramy [Integral Equations: Methods, Algorithms, Programs]*. Kyiv: Naukova dumka.
2. MATLAB – MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Viewed 29.05.2023). Title from the screen.
3. Verlan A.F., Sizikov V.S. (1978) *Metody resheniya integralnyh uravnenij s programmami dlya EVM. Spravochnoe posobie [Methods of solving integral equations with computer programs. Reference manual]*.
4. Goroshko I.O., Tikhokhod V.A. (2007) *Kompyuternaya realizaciya resheniya sistem integralnyh uravnenij Volterry pri issledovanii mnogovsyaznyh dinamicheskikh obektov. [Computer implementation of solving systems of Volterra integral equations in the study of multiply connected dynamic objects] Elektronnoe modelirovanie. (Vol. 29., № 3). (pp. 101–107).*
5. Tykhokhod V. O., Kublii L. I., Onysko A. I. (2023) *Doslidzhennia bahatozvi-aznykh dynamichnykh system shliakhom rozv'iazannia sistem intehralnykh rivnian Voltera I rodou metodom kolokatsii. [Study of multi-connected dynamical systems by solving systems of Volterra integral equations of the first kind by the method of collocations]. Information technologies and society. Vol. 1 (7).*
6. Solve systems of linear equations  $Ax=B$  for  $x$  – MATLAB mldivide. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/mldivide.html> (Viewed 29.05.2023). Title from the screen.

7. Solve linear system of equations – MATLAB linsolve. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/linsolve.html> (Viewed 29.05.2023). Title from the screen.

8. MATLAB Performance – MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab/performance.html> (Viewed 29.05.2023). Title from the screen.

---

УДК 378.147:317

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.15>

## МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ ОДНОСТУПІНЧАСТИХ РЕДУКТОРІВ

**Чепок Р. В.** – кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри професійної освіти  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-1449-9995

В статті наведені науково-методичні рекомендації щодо втілення в навчально-виховний процес вищої школи новітніх інформаційних технологій на прикладі виконання курсового проекту (проектування одноступінчастого редуктора) «Деталі машин». Автор висвітлює питання реалізації розробленої ним навчально-контролюючої програми "CalcEngineering" як навчального засобу, що суттєво змінює якість навчання та підвищує його ефективність. Наводяться конкретні приклади розрахунку звертається увага на недопущення типових помилок які притаманні здобувачам освіти при виконанні інженерно-технічних робіт. Описана автором програма є корисним інструментом для застосування в технічній механіці, який дозволяє зберегти час і зусилля на виконання розрахунків одноступінчастих редукторів. Використовувати програму рекомендовано на комп'ютерах, де встановлено пакет MS Office2000, оскільки пояснювальні записки зроблено в його форматі. Програма розрахунку одноступінчастого редуктора показала якісні результати у вигляді готової пояснювальної записки та значну економію часу на проектування – увесь процес займає декілька хвилин. Приклад розрахунків, виконаних за допомогою розробленої автором комп'ютерної програми, використовувався як контрольний засіб перевірки якості виконаної роботи.

Також автор наводить приклад виконання графічної частини курсового проекту виконаного за допомогою комп'ютерної програми AutoCAD. Було розроблено і проведено 2 лабораторно-практичних заняття, які підвищили ефективність засвоєння навчального матеріалу з «Деталей машин» і зменшили час на його опанування. Доведено що використання сучасних комп'ютерних програм як стандартних, так і авторських на сучасному етапі навчально-виховного процесу у вищій школі є нагальною необхідністю.

Розроблена методика експериментально перевірена і має певну науково-методичну цінність.

**Ключові слова:** комп'ютерні технології, програми, методичні засоби, проектний розрахунок, конструкторсько-технологічний зміст, графічні зображення, математичний розрахунок.

### **Chepok R. V. Methods of using computer technologies in the process of performing calculation and graphics of single-stage reducers**

In the article it is given the science methodical recommendations which relate to the questions of the introduction in the educational higher school's process of the newest information technologies on the pattern of students' carrying-out a project by the course of lectures "The autos' parts". The author covers the problems of the realization of the control educational program "Calc Engineering" which he has worked out as an educational means. This program heightens the effectiveness of the studying. It is given the concrete examples of the calculation and finely-shaped sketches. It is drawn the attention to the intolerableness of typical mistakes which can do the students in the time of carrying-out the engineering technological works. The program described by the author is a useful tool for use in technical mechanics, which allows you to save time and effort in performing calculations of single-stage gearboxes. It is recommended to use the program on computers where the MS Office2000 package is installed, as the explanatory notes are made in its format. The single-stage gearbox calculation program showed high-quality results in the form of a ready-made explanatory note and significant savings in design time – the whole process takes a few minutes. An example of calculations performed using a computer program developed by the author was used as a control tool for checking the quality of the work performed.

The author also gives an example of the execution of the graphic part of the course project using the AutoCAD computer program. 2 laboratory-practical classes were developed

*and conducted, which increased the efficiency of assimilation of the educational material from "Machine Parts" and reduced the time to master it. It has been proven that the use of modern computer programs, both standard and author's, at the current stage of the educational process in higher education is an urgent necessity.*

*The worked up methodic was held experimentally. This methodic has the definite science-methodical value.*

**Key words:** *computer technologies, methodical means, planning calculation, design-technological contents, graphic representation, mathematical calculation.*

**Постановка проблеми.** Освітнє середовище нове поняття, яке прийшло у педагогіку нещодавно. Воно визначається як взаємозв'язок структурних і функціональних елементів, що націлені на досягнення кінцевого результату – формування професійної компетенції майбутнього фахівця, підготовка його до професійної діяльності, що допоможе молодій людині соціально визначитись, усвідомити особисте своє «Я», активізуватись на саморозвиток, в тому числі, за рахунок використання сучасних інформаційних технологій.

Головним суб'єктом в освітньому середовищі залишається викладач, який узгоджує структурні елементи з вимогами до своїх випускників тих професійних сфер, до яких вони готуються вийти; створює новий зміст і засоби освітньої інформації; накопичує психологічні знання, рівень розвитку здібностей і ступінь готовності їх до майбутньої діяльності. Отже, підвищення рівня якості підготовки фахівців безпосередньо залежить від підвищення продуктивності педагогічної діяльності викладачів ВНЗ. Викладач може розвинути творчу готовність здобувачів освіти до майбутньої професійної діяльності тільки у взаємодії з самим здобувачем з його вихованням, навчанням та саморозвитком. Саме така організація навчального процесу відповідає парадигмі сучасної освіти початку XXI ст., що орієнтується на особистість у світі вимог Європейського спрямування.

Методична робота є важливою складовою навчально-виховного процесу й спрямована на вирішення завдань з підвищення якості підготовки фахівців на основі комплексного підходу до вдосконалення змісту, організації й методів навчання.

Розрізняють дві форми методичної роботи: науково-методичну та навчально-методичну. Науково-методична робота орієнтована на створення нових принципів і методів ефективного управління процесом навчання здобувачів освіти. Навчально-методична робота спрямована на методичне забезпечення й удосконалення існуючих форм і видів занять із здобувачами освіти [1].

**Мета статті.** Наша науково-методична робота мала за мету саме покращення методів ефективного управління процесом навчання студентів під час виконання розрахунків одноступінчастих редукторів. А ще точніше – при виконанні курсового проекту з «Деталей машин» за допомогою розробленої нами комп'ютерної програми "CalcEngineering".

**Виклад основного матеріалу.** Практика навчання здобувачів освіти свідчить, що вони витрачають багато часу на виконання курсових робіт з розрахунку редукторів. Ця робота дуже складна і потребує значної уваги, щоб не припуститися помилок. Тому постало питання автоматизувати зазначену роботу за допомогою комп'ютерної техніки, що дасть змогу зберегти час, оскільки розрахунок буде проведено за лічені секунди. Комп'ютер може робити розрахунки з дуже великою точністю, а також обирати оптимальний варіант вирішення задачі з вибору параметрів основних складальних одиниць редуктора.

Перед тим, як розпочати роботу над складанням програми, слід уважно вивчити теорію розрахунку різних типів редукторів. Це потрібно для того, щоб

виділити спільні ознаки та відмінності. Затрачений на це час виправдає себе пізніше. Наприклад, для всіх типів редукторів розраховується привод редуктора – пасова передача, причому для всіх однаково. Тому, відмітивши цю особливість, розрахунок пасової передачі можна зробити тільки один раз, але в окремому блоці. Тоді при розрахунку різних типів редукторів можна використовувати цей блок не повторюючи розрахунку. Якщо цього не зробити, то для кожного типу редуктора потрібно буде окремо розраховувати пасову передачу, або переробляти програму. Обидва випадки – марне гаяння часу, який можна заощадити уважно вивчивши методика розрахунку. Розрахунки кожного типу редуктора також рекомендується виносити в окремий модуль. Тоді при виникненні якоїсь помилки не треба для її знаходження переглядати всю програму, а можна зосередитись тільки на потрібній частині, що спростить налагодження. Є ще один проблемний аспект: за досить великого проекту спостерігається таке явище як «вихід проекту з-під контролю». Це буває, коли проект розростається настільки, що розробник не здатен утримати його в голові у повному обсязі і в якийсь момент забуває про те, що вже зроблено. У такому випадку приходиться використовувати багато часу на оновлення в пам'яті всього проекту. Тому ми рекомендуємо для різних за змістом розрахунків використовувати окремі модулі, а також ставити в програмі побільше коментарів з поясненнями.

Також слід звернути увагу на вибір табличних даних. Для багатьох деталей редуктора розміри беруться з одних і тих самих таблиць. Тому, робити вибір розміру для кожної деталі зайва і непотрібна робота. Цю операцію так само як і розрахунок пасової передачі можна зробити окремим блоком і використовувати його для вибору табличних розмірів різних деталей для всіх типів редукторів. Для цього потрібно додержуватись тільки двох умов: 1) вибір розмірів деталей робиться з однієї таблиці; 2) вибір розмірів ведеться за одним методом.

Наприклад, розміри обох валів обираються з однієї таблиці в сторону найближчого більшого – обидві умови виконуються. А якщо б один з валів вибирався в сторону найближчого меншого, то друга умова не виконується. В цьому випадку прийшлося б робити два різних блоки для обох випадків, або один більш складний, з урахуванням цієї відмінності.

Ще один важливий момент – використання змінних, в які заносяться результати розрахунку. В різних типах редукторів деякі параметри позначаються по-різному, але мають однаковий зміст. Тому не слід створювати свій набір змінних для кожного типу редуктора, а використовувати один, пам'ятаючи про різницю в позначенні. Використання спільних блоків та змінних дозволить зменшити розмір програми та заощадити ресурси комп'ютера. До того ж, якщо в якомусь блоці трапиться помилка, то її треба буде виправити тільки один раз в одному місці, бо він спільний для всіх розрахунків. Якщо ж для кожного типу редуктора такий розрахунок робити окремо, то помилку потрібно буде виправляти в кожному розрахунку, тобто марно гаяти час.

Дуже важливим аспектом роботи програми є помилки, котрі трапляються під час роботи з нею користувачів. Такі помилки, які не є помилками в розрахунках, можуть бути небезпечними і призвести до руйнування, або непридатності системи. Тому дуже важливо зробити аналіз усіх можливих помилок, тобто передбачити їх, перехопити якщо вони стануться та сповістити користувача про те, що відбулося не так. Операційна система в більшості випадків сама реагує на всякого роду помилки і сповіщає про це користувача, але рядовий користувач у більшості випадків не зрозуміє цього повідомлення, а з'ясувати чому так сталося не зможе

навіть програміст. Тому питання передбачення таких помилок і сповіщення користувача про те, в чому полягає проблема є дуже важливим.

У програмах такого типу можна виділити дві групи помилок, що є наслідком дій користувача:

Обмеженість даних. Таке буває, коли для заданих параметрів для розрахунку немає потрібних табличних значень. У такому випадку розрахунок заходить у глухий кут, у результаті чого з'являється помилка. Подібна проблема розв'язується тільки одним способом – потрібно звернутися до розробника програми з проханням збільшити діапазон табличних даних.

Некоректно задані дані. Окремі частини розрахунків для одного типу редуктора можуть відрізнятися. Наприклад, розрахунок вертикальних і горизонтальних реакцій опор для вхідного та вихідного валів за різними схемами ведуться за різними формулами. Але це проблема, про яку користувач може навіть не знати. Вирішення цього питання лежить на розробнику програми. Користувач же може вказати схему редуктора, яка не відповідає вказаному типу.

Наприклад, ведеться розрахунок циліндричної передачі, а схема вказана для конічної. У такому випадку буде виконано розрахунок циліндричної передачі, якщо він проводиться за вибраним типом редуктора, або конічної передачі, якщо розрахунок проводиться за вибраною схемою. В обох випадках розрахунок буде неповним, бо як було сказано вище, для різних схем реакції опор валів розраховуються за різними формулами. Як наслідок будуть не розраховані реакції опор валів та вибір підшипників. Тому перед початком розрахунку слід перевірити чи відповідає вказаний тип редуктора обраній схемі. У випадку невідповідності слід повідомити користувача про невідповідність у даних.

Після виконання розрахунків треба розв'язати ще одну проблему: яким чином представити користувачу результати. Шляхи вирішення цього питання можуть бути різними, але найприйнятним виглядає можливість згенерувати звіт за прикладом виконання курсової роботи з даної теми. Для вирішення цього питання обираємо такий програмний продукт як MS Word компанії Microsoft, бо він має ряд необхідних нам властивостей. По перше він є СОМ-сервером, який можна примусити робити необхідні дії за допомогою іншої програми – СОМ-клієнта. Таке можливе завдяки СОМ-технології. По друге: в нього дуже розвинутий СОМ-інтерфейс, що робить керування ним майже безмежним і гнучким.

Генерувати пояснювальну записку повністю дуже складна і не виправдана операція. Крім цього MS Word для використання формул теж використовує СОМ-технологію для запуску іншої програми, а ця програма хоча і представляє собою СОМ-сервер, але не має інтерфейсу для обміну даними з користувачем, а отже і керування нею неможливе. Тому автоматизувати процес набору формул немає можливості, тобто користувач повинен робити це власноруч. З огляду на описані причини, ми відкидаємо можливість генерування пояснювальної записки «з нуля». Найраціональніше буде зробити заготовки документів, у яких уже буде набрана пояснювальна записка, а в тих місцях, де повинні бути результати розрахунку, треба поставити позначки, наприклад, якийсь набір букв та цифр, оскільки для розрахунків різних типів редукторів використовують різні формули, то виникає необхідність для кожного типу редуктора підготувати свою пояснювальну записку.

Після виконання цього етапу використовуємо технологію СОМ для того, щоб запустити MS Word і відкрити необхідний документ. Далі робимо пошук в документі розставлених нами позначок і замінюємо їх на відповідні результати розрахунку. При цьому виникає проблема цілісності документа. Тобто, якщо хтось

внесе в нього зміни, особливо це стосується розставлених позначок, то результати розрахунку будуть виведені неправильно, або не виведуться зовсім (у разі відсутності позначок). Тому доходимо до висновку, що заготовки пояснювальних записок треба захистити від зовнішнього втручання. Рекомендується документи позначити як «тільки для читання», або ще й додати пароль на відкриття. Це гарантує, що ніхто помилково не зможе внести в нього якісь зміни.

Для користування програмою потрібно мати початкові навички роботи на комп'ютері. Програма має дружній до користувача інтерфейс, який не викликає сумнівів щодо використання. В програмі є дві таблиці (Рис. 1), у вічках яких указано варіанти частоти обертання вихідного валу, в хвил<sup>1</sup> та потужності на вихідному валу редуктора, в кВт. Для вибору потрібних значень треба клацнути лівою кнопкою «миші» у таблиці на потрібному значенні. При цьому обране значення буде виділене синім кольором. Після цього слід вказати тип передачі, вибір якого зроблений у вигляді розгортального списку. Тоді стане доступним другий список, в якому обирається частота обертання електродвигуна. І остання операція введення даних – це вибір схеми редуктора. Його роблять за допомогою елемента з цифрою, яка вказує номер схеми, та стрілками вгору і вниз, за допомогою яких відповідно змінюється номер схеми. Нижче розташована кнопка «Прийняти дані». Натиснувши її робимо розрахунок. Якщо розрахунок проведено успішно, стає доступною кнопка «Сгенерувати» із зображенням документа. Натискання на неї призводить до генерації пояснювальної записки. Коли генерація пояснювальної записки буде закінчена, з'явиться діалогове вікно збереження файлу, в якому слід вказати ім'я файлу і місце, куди його слід записати. Якщо цього не зробити, то результати розрахунків буде анульовано.

Спосіб розрахунку: Допомога

Частота обертання веденого валу редуктора:

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
2	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
3	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
4	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
5	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190

Потужність на веденому валу:

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потужність	1.3	1.9	2.4	3.2	3.9	4.4	5.1	5.8	6.3	7.2

Тип передачі:

Синхронна частота:

Номер схеми: 1

Прийняти дані

Сгенерувати

Рис. 1. Таблиця вхідних параметрів для розрахунку редуктора



У згаданих вище таблицях наведено табличні значення параметрів, що звужує коло редукторів, які можна розрахувати. Тому передбачена можливість задати дані для розрахунку, яких немає у таблицях. В цьому випадку слід у меню «Спосіб розрахунку» обрати пункт «Будь-які дані». З'явиться маленьке віконце, в якому слід за допомогою клавіатури задати потрібні значення та натиснути кнопку «Розрахувати». Усе інше робиться так, як описано вище.

Описана програма є корисним інструментом для застосування в технічній механіці, який дозволяє зберегти час і зусилля на виконання розрахунків одноступінчастих редукторів.

Використовувати програму рекомендується на комп'ютерах, де встановлено пакет MS Office 2000, оскільки пояснювальні записки зроблено в його форматі.

Програма розрахунку одноступінчастого редуктора показала якісні результати у вигляді готової пояснювальної записки та значну економію часу на проектування – увесь процес займає декілька хвилин.

Приклад розрахунків, виконаних за допомогою розробленої нами комп'ютерної програми, використовувався як контрольний засіб перевірки якості виконаної роботи.

Графічна частина курсового проекту виконана за допомогою комп'ютерної програми AutoCAD.

Одне з головних завдань нашого дослідження передбачало навчання здобувачів освіти умінням та навичкам практичного використання комп'ютерних програм з графіки, призначених для вирішення конкретного специфічного завдання в конкретній галузі. Стосовно цього блоку ми розглядали типи занять в умовах використання комп'ютерної програми AutoCAD, користуючись розробками Сидоренка В.К., Тхоржевського Д.О., Тхоржевської Т.В., Л.І. Цвіркуна, Л.В. Бешти Л.І. [2–4].

Було розроблено і проведено 2 лабораторно-практичних заняття, які підвищили ефективність засвоєння навчального матеріалу з «Деталей машин» і зменшили час на його опанування.

Наводимо стислі методичні вказівки щодо використання названих лабораторних робіт.

Лабораторна робота № 1. Тема: Використання команд конструювання об'єктів.

Під час лабораторної роботи необхідно: 1. Відкрити програму AutoCAD. 2. Розглянути команди конструювання об'єктів, які знаходяться на інструментальній панелі геометрії. 3. Виконати побудови відповідно до завдання: відкрити файл креслення, створити новий вид під ім'ям «Вал» у масштабі 2:1, виконати креслення валу (без нанесення розмірів), побудувати фаски і скруглення в позначених на кресленні місцях, нанести штрихування на місці обриву, зберегти і закрити креслення, вийти з програми AutoCAD.

Контрольні запитання, які викладач повинен поставити в кінці заняття: 1. Призначення команд конструювання об'єктів. 2. Що таке фаска і як викликати цю команду? 3. Для чого призначено команду скруглення і як її викликати? 4. Призначення геометричного калькулятора? 5. Для чого призначена команда штриховка і коли застосовують автоматичне штрихування, а коли ручне?

Виконання лабораторної роботи № 2. Тема: Редагування креслення. Викладач повідомляє хід роботи: відкрити програму AutoCAD, розглянути команди редагування об'єктів, накреслити фланець з одним отвором, а потім розмножити отвори до шести.

У процесі розробки нового документа для внесення змін в готове креслення часто виникає необхідність вносити корективи, які інколи суттєво змінюють

зовнішній вигляд деталі. Для таких випадків AutoCAD надає конструктору засоби редагування креслення. До цих команд відносяться: відміна та повторювання дій – у процесі розробки креслень особливо на етапі засвоєння системи виникає необхідність відміни виконання останньої дії (однієї або декількох), система дозволяє легко виправити помилку, відновивши результати попередніх дій; виділення об'єктів у процесі роботи над кресленням конструктору необхідно виконувати різні операції над об'єктами: видаляти, переміщувати, копіювати і т. ін. Такі команди можуть бути викликані кнопками на інструментальній панелі та значно скорочують час на виконання креслення.

При проведенні лабораторних робіт слід пам'ятати, що пояснення нового матеріалу треба закінчувати виконанням графічних вправ. Для здобувачів освіти було розроблено спеціальні графічні задачі з насиченим конструкторсько-технологічним змістом. Наприклад, за незакінченим кресленням корпусу одноступінчастого редуктора, побудувати його головний вигляд (Рис. 2).

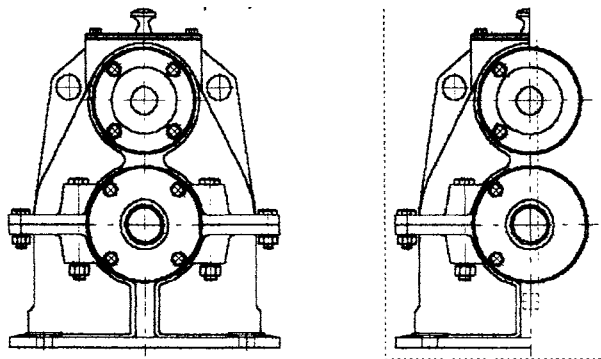


Рис. 2. Креслення корпусу редуктора одноступінчастого

Закінчити побудову головного вигляду редуктора одноступінчастого.

У процесі пояснення нового матеріалу треба сказати, що під час розробки креслень виникає необхідність виміряти відстані та кути між побудованими елементами креслень, довжину елемента, його площу, а також масоцентрові характеристики розроблених деталей. AutoCAD дозволяє легко вирахувати всі ці характеристики за допомогою спеціальних команд, кнопки для виклику яких розташовані на інструментальній панелі вимірювань. Для прикладу розглянемо одну з таких команд. Команда «Виміряти відстань між двома точками» дозволяє виміряти відстань між двома будь-якими точками на кресленні.

Після виклику команди на екрані з'явиться діалогове вікно, в якому будуть відображатися результати вимірювань із заданою точністю; для вимірювань достатньо вказати курсором на пару точок, відстань між якими необхідно виміряти.

AutoCAD дозволяє також здійснювати розрахунки маси та об'єму деталі, координати центра мас, площинних, осьових та відцентрових моментів інерції. Можливий розрахунок площинних фігур, тіл обертання (або секторів тіл обертання) та тіл видавлення. У процесі розрахунку об'ємних тіл можливо обирати значення щільності матеріалу із довідкової бази або вводити з клавіатури. Всі команди для розрахунку масоцентрових характеристик (МЦХ) об'єктів схожі між собою. Розглянемо для прикладу одну з них.

Відомо, що на площинному кресленні неможливо задати об'ємне тіло, тоді для задання тіла видавлення вказують переріз тіла площиною, перпендикулярного до напрямку видавлення та товщину тіла [2].

Після виклику команди на екрані з'явиться діалогове вікно розрахунку МЦХ. Укажіть курсором замкнений контур, який обмежує фігуру (якщо фігура задана набором відрізків дуг і т. ін., використайте кнопку «Обхід границі за стрілкою»). Після обходу кожного контуру на екрані з'явиться діалогове вікно, в якому необхідно задати тип тіла обертання, його товщину та задати щільність матеріалу.

Розрахунок МЦХ починається після вказування першого тіла та при вказуванні кожного наступного, результати змінюються відповідно до параметрів нового тіла, а вибрані контури підсвічуються.

AutoCAD – це система, створена не просто для креслення геометричних об'єктів, її використовують для швидкого випуску конструкторської документації за міжнародними вимогами і за вимогами ЄСКД [2]. Тому в системі є великий набір конструкторсько-технологічних команд – нанесення розмірів, допуски форми і розташування поверхонь, позначення баз, ліній виносок і т.ін., а відтак такий об'єкт утворений як єдине ціле, а не як окремий набір відрізків та символів.

AutoCAD дозволяє наносити всі типи розмірів, які передбачає конструкторсько-технологічний підхід в «Деталях машин» та вимоги стандартів. Принципи введення та оформлення єдині для всіх типів, тому розглянемо нанесення лише лінійного розміру. На інструментальній панелі розмірів розташовані також кнопки для виклику команд, які забезпечують нанесення наступних конструкторсько-технологічних позначень на кресленні: шорсткості, бази, лінії виноски, клеймування, маркування, позначення позицій, допуску форми, лінії розрізу, стрілки напряму зору.

Для точного нанесення розмірів мають бути увімкнені глобальні прив'язки (як правило Близька точка та Перетин.)

Для нанесення лінійного розміру слугує команда «Лінійний розмір», яка знаходиться на інструментальній панелі розмірів.

Натиснувши кнопку, вкажіть послідовно дві базові точки (точки початку виносних ліній), а слідом точку положення розмірної лінії, яка теж з'ясує положення розмірного напису. Після вводу перших двох точок на екрані буде відображено фантом розміру, а в рядку параметрів об'єкта координати заданих та три кнопки. За допомогою цих точок можна керувати положенням розмірної лінії:

Для редагування розмірного напису необхідно натиснути мишею в полі розмірного напису і на екрані з'явиться діалогове вікно редагування розмірного напису. За допомогою даного діалогу можливо доповнити запропонований системою текст (як правило це значення лінійного розміру). Наприклад, поставити до тексту знак діаметра, радіуса або позначення різьби, або взагалі сформувати текст розмірного напису.

Крім цього, натиснувши кнопку «Квалітет», можна обрати на екрані діалогове вікно необхідний квалітет, далі система автоматично задаватиме величину відхилення залежно від значення розміру.

Знак невказаної шорсткості поверхні конструкторсько-технологічна невід'ємна в машинобудівельних кресленнях виконується на кресленні командою з меню Компановка ► Невказана шорсткість. В діалоговому вікні необхідно обрати тип знаку, призначити (в полі «Текст») або вибрати із списку значення шорсткості, увімкнути параметр «Додати» знак в дужках. Натиснути кнопку «Ок» і обраний знак шорсткості з'явиться в верхньому куту креслення.

**Висновки.** Таким чином, на основі позитивних результатів науково-навчального експерименту, пов'язаного з використанням комп'ютерних технологій при виконанні курсового проекту «Деталі машин», в якому брали участь здобувачі освіти: використання сучасних комп'ютерних програм як стандартних, так і авторських на сучасному етапі навчально-виховного процесу у вищій школі є нагальною необхідністю. Оскільки спостерігається суттєве скорочення часу на виконання проектних розрахунково-графічних робіт; виключається можливість припуститися суттєвих помилок, що призводить до невірної кінцевого результату. Крім цього здобувачі освіти мають можливість самостійно перевірити оптимальність вибраного ними конструкторсько-технологічного рішення і вразі невідповідності результатів, своєчасно виправити допущені помилки як у розрахунковій, так і у графічній частині курсового проекту.

Використання комп'ютерної техніки під час засвоєння здобувачами освіти знань та вмінь з інженерно-графічних дисциплін є обов'язковою складовою технічних засобів навчання, що традиційно використовується викладачами (показ натуральних об'єктів або їх моделей, використання друкованого дидактичного матеріалу, використання відео плакатів та ін.), але з набагато більшою інтелектуальною можливістю.

Для досягнення максимального навчально-виховного ефекту при використанні авторських комп'ютерних програм, які за змістом фактично є контролюючими, необхідно для здобувачів освіти створити умови самостійного використання названих програм з метою виявлення можливих помилок. В такому разі комп'ютерні програми змінюють змістовний характер і перетворюються фактично в навчально-контролюючі, що значно підвищує їх науково-методичну цінність.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Алексюк А.М. Педагогіка вищої освіти України. Історія. Теорія : підручник. Київ : Либідь, 1998. 560 с.
2. Цвіркун Л.І., Бешта Л.В. Інженерна та комп'ютерна графіка. AutoCAD : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська Політехніка», 2018. 209 с.
3. Сидоренко В.К., Тхоржевська Т.В. Креслення : навч. посіб. Київ: Арка, 2000. 224 с.
4. Тхоржевський Д.О. Методика трудового та професійного навчання : навч. посіб. 4-е видання, перероблене і доповнене. Київ : НПУ ім. П.М. Драгоманова, 2001. 358 с.

#### REFERENCES:

1. Aleksyuk A.M. (1998). *Pedagogy of higher education of Ukraine. History. Theory*. Kiev: Lubid [in Ukrainian].
2. Tsvirkun L.I., Beshta L.V. (2018) *Engineering and computer graphics. AutoCAD*. Dnipro: NTU "Dniprovskaya Polytechnic" [in Ukrainian].
3. Sydorenko V.K., Thorzhevskaya T.V. (2000). *Drawing*. Kiev: Arka (in Ukrainian)
4. Thorzhevsky D.O. (2001). *Methodology of labor and professional training. 4th edition, revised and supplemented*. Kiev: NPU named after P.M. Dragomanova [in Ukrainian].

---

# ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## FOOD TECHNOLOGY

UDC 641.1+641.53

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.16>

### FEATURES OF MICROWAVE HEATING EQUIPMENT IN THE HOTEL AND RESTAURANT BUSINESS AND FOOD INDUSTRY

---

**Antonenko A. V.** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Computer Engineering  
State University of Telecommunications  
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

**Brovenko T. V.** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Hotel and Restaurant  
and Tourist Business  
Kyiv National University of Culture and Arts  
ORCID ID: 0000-0003-1552-2103

**Zemlina Ju. V.** – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Hotel and Restaurant  
and Tourist Business  
Kyiv National University of Culture and Arts  
ORCID ID: 0000-0003-0194-9472

**Kryvoruchko M. Yu.** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Design and Engineering  
State University of Trade and Economics  
ORCID ID: 0000-0002-7378-1050

**Tolok G. A.** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Standardization and Certification  
of Agricultural Products  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-2971-1645

**Vasilenko O. V.** – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Hotel and Restaurant  
and Tourist Business  
Kyiv National University of Culture and Arts  
ORCID ID: 0000-0003-4097-7476

---

The article describes the features of the interaction of microwave energy with food raw materials and food products and conducts an analytical review of the application of microwave processing for various technological processes in the food industry and hotel and restaurant business. The paper examines the peculiarities of the interaction of microwave energy with food raw materials and food products and gives an overview of the application of microwave processing for various technological processes in the food industry and the hotel and restaurant business. Despite the number of scientific works devoted to the topic of technological equipment, in particular, microwave heating, in Ukraine this is an insufficiently illuminated topic that requires research, taking into account the current conditions in the national economy. To create more rational technological processes, a combination of microwave heating with other energy carriers is used: steam, hot air, infrared heating, heated fat, vacuum, ultrasound. Heat treatment of food products in the cooking mode is divided into two stages: heating to a set temperature and maintaining this temperature until complete culinary readiness. The stepwise microwave heating method is also used, which ensures a high heating rate and avoids uneven heating of individual areas of the processed products. In this way, the possibility of temperature redistribution is ensured through the thermal conductivity of the material during its thermostating. One of the features of microwave processing is the possibility of rapid and relatively uniform heating of the product throughout the entire volume, which by its nature depends not so much on the thermophysical characteristics of the heated object, but on the presence of moisture in it and the nature of its distribution by volume. The ability of dielectric heating is effectively used in the food industry when defrosting products. Defrosting in the microwave field allows you to speed up the process tenfold and to a large extent preserve the quality of food products. Good results are given by combined methods of defrosting microwave heating with ultrasound, as well as with the method of blowing the product with cold air. The use of microwave heating with other physical methods and energy carriers makes it possible to intensify technological processes, reduce the cost of finished products, as well as increase the nutritional and biological value of raw materials, semi-finished products and finished products

**Key words:** technological equipment, microwave energy, thermal processes, microwave heating, induction field.

**Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Земліна Ю. В., Криворучко М. Ю., Толоч Г. А., Василенко О. В. Особливості мікрохвильового нагрівального обладнання в готельно-ресторанному бізнесі та харчовій промисловості**

У статті наведено особливостей взаємодії НВЧ-енергії з харчовою сировиною та продуктами харчування та проведення аналітичного огляду застосування НВЧ-обробки для різних технологічних процесів у харчовій промисловості та готельно-ресторанному бізнесі. У роботі розглянуто особливості взаємодії НВЧ-енергії з харчовою сировиною та продуктами харчування та наведено огляд застосування НВЧ-обробки для різних технологічних процесів у харчовій промисловості та готельно-ресторанному бізнесі. Незважаючи на кількість наукових доробок присвячених темі технологічного устаткування, зокрема НВЧ-нагріву, в Україні це недостатньо освітлена тема яка вимагає дослідження враховуючи умови сьогодення в національній економіці. Для створення раціональніших технологічних процесів використовують комбінацію НВЧ нагрівання з іншими енергоносіями: пар, гаряче повітря, ГЧ-нагрів, розігрітий жир, вакуум, ультразвук. Теплова обробка харчових продуктів в режимі приготування поділяється на два етапи: розігрів до температури, що встановилася, і підтримання цієї температури до настання повної кулінарної готовності. Також застосовується метод ступінчастого НВЧ-нагріву, який забезпечує високу швидкість нагріву та дозволяє уникнути нерівномірності нагріву окремих ділянок оброблюваних виробів. Таким чином забезпечується можливість перерозподілу температур шляхом теплопровідності матеріалу при його термостатуванні. Однією з особливостей НВЧ-обробки є можливість швидкого і відносно рівномірного нагріву продукту по всьому об'єму, який за своєю природою залежить не стільки від теплофізичних характеристик об'єкта, що нагрівається, скільки від наявності в ньому вологи і характеру її розподілу за обсягом. Здатність діелектричного нагріву ефективно використовується у харчовій промисловості при розморожуванні продуктів. Розморожування у НВЧ-полі дозволяє в десятки разів прискорити процес та значною мірою зберегти якість харчових продуктів. Хороші результати дають комбіновані методи розморожування НВЧ-нагріву з ультразвуком, а також з методом обдування продукту холодним повітрям. Застосування НВЧ-нагріву з іншими фізичними методами та енергоносіями дозволяють інтенсифікувати технологічні процеси, знизити собівартість готової продукції, а також підвищити харчову та біологічну цінність сировини, напівфабрикатів та готових виробів.

**Ключові слова:** технологічне устаткування, НВЧ-енергія, теплові процеси, НВЧ-нагрів, індукційне поле.

**Introduction.** Currently, in the food industry and the hotel and restaurant industry, special attention is paid to physical methods of influencing raw materials, semi-finished products and finished products, which are capable of intensifying heat exchange processes, ensuring microbiological safety, as well as improving and increasing the nutritional value of food raw materials. A physical method capable of achieving these goals is heating in an electromagnetic field. The paper examines the peculiarities of the interaction of microwave energy with food raw materials and food products and gives an overview of the application of microwave processing for various technological processes in the food industry and the hotel and restaurant business. Despite the number of scientific works devoted to the topic of technological equipment, in particular, microwave heating, in Ukraine this is an insufficiently illuminated topic that requires research, taking into account the current conditions in the national economy.

**Formulation of the problem.** Modeling heat treatment of food products is a process of creating a product as a single integrated system consisting of elements that do not individually provide the specified properties. Conceptual approaches to the modeling of heat treatment and regimes based on them consist in optimizing the choice and ratio of methods by which it is possible to obtain a finished product that, in terms of quantitative content and qualitative composition, corresponds to nutritional value indicators and medical-biological requirements to the greatest extent. The use of various heating methods allows you to qualitatively process food raw materials and products in the shortest possible time.

**The aim of the study.** The purpose of the article is to study the peculiarities of the interaction of microwave energy with food raw materials and food products and to carry out an analytical review of the application of microwave processing for various technological processes in the food industry and hotel and restaurant business.

The object of the research is the peculiarities of the interaction of microwave energy with food raw materials and dishes.

The subject of research is technological equipment, microwave energy, thermal processes, quality and safety.

**Analysis of recent research and publications.** Scientific substantiation and development of thermal processing technologies for various types of food products based on thermal energy is an urgent task, the solution of which will allow expanding the range of dishes with increased nutritional and biological value and obtaining products with specified functional properties.

A significant contribution to solving the fundamental issues of creating technologies and equipment for food products with complex raw materials as a means of preventing and eliminating micronutrient deficiencies was provided by the research of the following domestic and foreign scientists: O.O. Grinchenko, A.B. Horalchuk, A.M. Dorokhovych, I.Yu. Zhigalenko, A.V. Ziolkovskaya, P.O. Karpenka, M.B. Kolesnykova, V.N. Korzuna, M.V. Kravchenko, H.M. Lysyuk, L.P. Malyuk, L.M. Mostovoi, N.Ya. Orlova, M.I. Peresichny, P.P. Pivovarova, N.V. Prytulska, G.B. Rudavska, M.R. Ennis, J.C.F. Murray, G.O. Phillips, W.C. Weling, P.A. Williams and others [1–13].

**Presentation of the main research material.** The heating of bodies, in particular food products, in an electromagnetic field differs from their heating due to heat conduction or convection in that the elements of the medium that separates the generators of electromagnetic oscillations and the objects of heating, as a rule, do not participate in the transfer of heat. Therefore, in such systems (generator – medium – heating object) the heat flow is not continuous and the energy is transferred in the form of electromagnetic waves. Heat arises in the objects of heating themselves due to its

interaction with the electromagnetic field. Electromagnetic waves of the appropriate frequency  $\nu$  and length can be used in the production of food products to implement three main methods of heating bodies; infrared (IR), dielectric (DE) and induction (ID). It is worth noting that with IR and DE heating, food products are directly heated, while with IR heating, only some ferromagnetic part of the device is heated [1; 2; 4].

Dielectric heating is a method of heating dielectric materials with a time-varying electric field. Ultra high frequency (UHF) heating is the use of ultra high frequency electromagnetic field energy with a frequency range of  $3 \cdot 10^8 - 5 \cdot 3 \cdot 10^{10}$  Hz to heat various environments and bodies. According to the international agreement on the division of frequencies, frequencies of 895–915 MHz and 2350–2450 MHz are used for microwave installations [5–7].

From an electrophysical point of view, food products should be classified as semiconductors. Food products are, as a rule, complex heterogeneous systems containing water in the amount of 50–95 %. From the point of view of the interaction of food products with the electromagnetic field, their components such as proteins, fats, carbohydrates, and water should be classified as non-ideal dielectrics, and aqueous solutions of salts (electrolytes) as conductors. When an external electric field is applied, displacement currents that reflect the dielectric properties and conduction currents that reflect the movement of free charges arise in the product. The latter are always present in wet food products, as alkalis, acids and salts dissociate in water, resulting in the formation of ions and active conductivity of the material. The effect of heating food products in an ultrahigh-frequency (UHF) field is mainly (but not entirely) related to their dielectric properties, which are determined by the behavior of dipoles in such a field. Dipoles (dipole molecules and atoms) can be present in a food product, for example, water molecules, or arise in it under the influence of an external electric field.

The orientation of already existing dipoles, and even the emergence of new dipoles and its orientation under the influence of an external electric field constitute the essence of polarization. It occupies a central place in the mechanism of heat generation in bodies located in the microwave field. The energy of the external field, spent on the polarization of the dielectric, is transformed into heat in it, and the heat occurs in the entire volume of the material, and not only on its surface. Therefore, DE-heating is often called volume heating. Dielectric properties of food products and various materials depend mainly on their nature, humidity, temperature and frequency of field oscillations. The complex nature of the interaction between the amount of heat released and the depth of penetration of the microwave field leads to the need to select a product of such thickness that overheating of its outer (with large values of the absorption coefficient) and internal (with small values of the absorption coefficient) layers is not observed [8]. Microwave heating has a number of advantages over traditional methods of heat treatment:

- high rate of heating and its uniformity due to “volumetric” heat supply;
  - preservation of vitamins and other essential nutrients of the food product;
  - the possibility of a moderate mode of heat treatment, heat supply in pulses, i.e. step heating;
  - creation of a given temperature unevenness during heat treatment of food products by selecting the shape of the microwave generator’s working bodies or by using curtains (screens) that regulate the transmission of microwaves to the product;
  - high efficiency of the process (the absence of contact with the heat carrier and the generation of heat in the product itself minimize heat loss to heat the equipment and to the environment;
-



- the consumption of electricity by microwave generators is much less than by electrolytes and other heating devices);
- improvement of working conditions by reducing the release of gaseous substances, steam and heat into the environment [9].

However, DE-heating has a drawback, which is the absence of a specific fried crust on the surface of the products. Therefore, DE heating is recommended to be used in combination with IR heating and traditional methods of heat treatment [10].

Currently, microwave processing is used in the hotel and restaurant business and the food industry in the following processes: heating and preparation of dishes, drying, defrosting, cooking, baking, disinfection, extraction, as well as as a stimulating factor aimed at intensifying technological processes and increasing food values of raw materials, semi-finished products and finished culinary products. To create more rational technological processes, a combination of microwave heating with other energy carriers is used: steam, hot air, infrared heating, heated fat, vacuum, ultrasound. The most common way of using microwave energy is heating and cooking dishes and culinary products. Heat treatment of food products in the cooking mode is divided into two stages: heating to a set temperature and maintaining this temperature until complete culinary readiness. The stepwise microwave heating method is also used, which ensures a high heating rate and avoids uneven heating of individual areas of the processed products. In this way, the possibility of temperature redistribution is ensured through the thermal conductivity of the material during its thermostating. One of the features of microwave processing is the possibility of rapid and relatively uniform (gradient-free) heating of the product throughout the entire volume, which by its nature depends not so much on the thermophysical characteristics of the heated object as on the presence of moisture in it and the nature of its distribution by volume. This ability of dielectric heating is effectively used in the food industry when defrosting products. Defrosting in the microwave field allows you to speed up the process tenfold and to a large extent preserve the quality of food products. Moisture loss in products during defrosting in the microwave field is negligible. Good results are given by combined methods of defrosting microwave heating with ultrasound, as well as with the method of blowing the product with cold air [4; 6; 7].

In scientific papers, the technology of defrosting hydrobionts in the microwave microwave field was developed, which made it possible to reduce the time of technological processes by 4–15 times, as well as to increase the nutritional and biological value of finished products. Fibers and microstructure of muscle tissue at the cellular level are preserved better and more integrally, pH values are stable. Protein denaturation changes are insignificant, characterized by an increased level of solubility of sarcoplasmic (by 16–20 %) and myofibrillar (by 19–27 %) fractions 2 by the content of essential amino acids (methionine, cysteine, leucine, isoleucine by 9–31 %), the degree of hydrolysis and oxidation of lipids is 1.5–3 times lower, which ensures an increased total content of polyunsaturated biologically active fatty acids from 3 to 8–16 % [5].

Similar results were obtained when defrosting meat in blocks with microwave energy. In [8], a method of defrosting apple fruits under the influence of microwave energy is proposed. At the same time, the duration of the thawing process is reduced by more than 20 times, but the content of dry substances increases, and the organoleptic indicators of thawed fruits improve. Due to the peculiarities of the interaction of microwave energy with food raw materials and products, drying in the microwave field ensures uniform heating of the product, and the efficiency of the process practically does not depend on the thermal conductivity of the drying material and is determined only by the moisture

content in the product. Areas with a high moisture content heat up most intensively, but as the humidity decreases, the heating rate decreases. This makes it possible to exclude overheating of the product and deterioration of organoleptic indicators. At the same time, losses of nutrients and primarily vitamins are significantly reduced. As a result of volumetric heating of products during microwave drying, all free moisture inside turns into steam. At the same time, excess pressure is created, as a result of which the product increases in volume and acquires a porous structure. This is of great importance in the technology of fast food products, such as beverages, cereals, soups based on vegetables, fruits or grains. The most promising combined drying: convective drying and microwave drying [9]. In devices with a microwave source, the intensity of the process of drying compound feed and grain increases by 5–10 times [10].

In the works of the authors, it was proposed to use the energy of the ultrahigh-frequency (HF) field for vacuum-sublimation dehydration of food products. The nature of microwave heating allows for a sharp intensification of the processes of heat and mass exchange, since the heating of the product occurs throughout the volume and the temperature and humidity gradients coincide in the direction [6].

In the works of scientists, the advantage of using microwave energy for drying coriander seeds compared to convective drying is substantiated [7]. When cooking and blanching using the energy of the microwave field, the duration of processing and the loss of food substances are reduced. Scientists have developed a high-frequency device for cooking chopped raw meat. This installation made it possible to increase productivity and reduce economic costs.

The use of microwave field energy for the extraction of oils from vegetable raw materials allows you to speed up the process, achieve almost complete extraction of oils, and preserve the nutritional and biological value of the finished product [10]. Thus, in scientific papers, a scheme for microwave extraction of biologically valuable components from plant raw materials (eucalyptus leaves) is proposed. It has been established that under the influence of microwave energy, essential oils (up to 99.5 %) and soluble salts are extracted as completely as possible. At the same time, the speed of extraction is higher than with steam extraction. Intensification of the extraction process occurs due to the occurrence of excessive pressure inside the tissues due to steam formation. The resulting water vapor “pushes” substances from the cells to the leaf surface [10].

Microwave heating can also be successfully used to process raw materials with active enzymes (for example, malt products, grain, plant seeds), thereby regulating and achieving the desired enzyme activity indicators [11; 12].

Depending on the processing modes, it is possible to increase the activity or cause the inactivation of enzymes. In agriculture, microwave treatment of seeds before sowing helps to increase their germination and viability. The stimulating effect of microwave energy is explained by the stimulation of active centers of enzymes involved in the processes of seed germination, as well as an increase in the permeability of cell membranes due to the formation of free radicals, which contributes to a better supply of cells with oxygen and water. Microwave processing has become widespread in the bakery and confectionery industry. Microwave processing is widely used to disinfect and improve the nutritional value of grain. Under the action of a microwave field with a heating rate of 0.4–0.6 °C/s and an exposure of 60 s, a disinfecting effect is observed during storage, and in some cases, an improvement in the food qualities of grain and its processing products. Microwave processing of food grain wheat leads to an increase in its baking qualities due to the improvement of the physical properties of gluten, as well as a decrease in the content of starch in wheat grains, an increase in hydrolysis,

which positively affects the baking qualities of products [13]. A similar decontamination effect can be observed in the processing of dried fruits, decontamination of dried fruits from sporulation by species of the genera *Mucor*, *Penicillium*, *Phomopsis* and general microbial contamination occurs [14].

When the yeast semi-finished product is treated with an ultra-high frequency electromagnetic field (microwave field), the fermentation process is intensified. A strong electric field, acting during kneading, intensifies dough fermentation processes and increases the rate of CO<sub>2</sub> release and dough rising with increasing temperature from room to 30 °C [11].

Carrying out the dough proofing process in the microwave field at a power of 250–500 W for 10–40 seconds during the production of flour products reduces the duration of the process and allows you to significantly improve the quality of the finished product [12]. When baking in an ultra-high-frequency electromagnetic field, the heating rate increases and the duration of heat treatment is reduced by 5–10 times compared to surface heating, burning of products is excluded, the nutritional value of the product is more fully preserved, and the yield of finished products increases [13]. Processing in the microwave field of ready-made flour confectionery and bakery products inhibits the activity of moldy microflora, which allows to increase the shelf life of the products [14].

**Conclusions.** The studied data on the use of microwave energy in various technological processes allow us to talk about the effectiveness of this physical method of processing products. The use of microwave heating, as well as its complex with other physical methods and energy carriers, allows you to intensify technological processes, reduce the cost of finished products, as well as increase the nutritional and biological value of raw materials, semi-finished products and finished products. At the same time, the mechanisms of the influence of microwave energy on food products remain unexplored.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Мазаракі А.А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ : КНТЕУ. 2012. 1116 с.
2. Львович И.Я. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. Одеса : Купрієнко С.В., 2016. 197 с.
3. Antiushko D., Bozhko T., Shapovalova. Nutritional value of a dry soluble gerodietetic product for enteral nutrition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 5. С. 35–42.
4. Черевко О.І. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Харків : ХДУХТ, 2017. 591 с.
5. Yatsenko V.M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 2017. 619 с.
6. Гамаюмова В.В. Інноваційні технології в житті сучасної людини. Ч. 3: Серія монографій Одеса : Купрієнко С.В., 2020. 209 с.
7. Преображенський А.П. Рівень розвитку техніки і технологій в ХХІ столітті. В 2 частинах. Частина 1: Серія монографій. Одеса : Купрієнко С.В., 2019. 227 с.
8. Львович И.Я., Некрасов В.А., Преображенський А.П. Перспективні тренди розвитку науки: техніка і технології. Одеса : Купрієнко С.В., 2016. 197с.
9. Чепурда Г.М. Стратегії сталого розвитку в туризмі та готельно-ресторанному бізнесі: можливості і проблеми запровадження в Україні. Черкаси : ЧДТУ, 2021. 189 с.
10. Brovenko T.V., Antonenko A.V. and others. Wissenschaft für den modernen Menschen: wirtschafts, management, marketing, tourismus, rechts und politikwissenschaften. Monografische Reihe "Europäische Wissenschaft". Buch 4. Teil 6. 2021.

11. Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2012. № 1. С. 82–88.
12. Михайлик В.С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. *Харчова наука і технологія: науково-виробничий журнал*. 2016. № 1. С. 72–77.
13. Антоненко А.В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. № 46 (1). С. 149–153.
14. Земліна Ю.В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. *Науковий журнал «Вчені записки» ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Том 30 (69). 2019.

#### REFERENCES:

1. Mazaraki A.A. (2012) Tekhnologiya harchovih produktiv funkcional'nogo priznachennya. Kyiv: KNTEU. 1116 p. [in Ukrainian].
2. L'vovich I.Ya. (2016) Perspektivnye trendy razvitiya nauki: tekhnika i tekhnologii. Odesa: Kuprienko SV. 197 p. [in Ukrainian].
3. Antiushko, D., Bozhko, T., Shapovalova, (2021) Nutritional value of a dry soluble gerodietetic product for enteral nutrition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 5, pp. 35–42 [in Ukrainian].
4. Cherevko O.I. (2017) Innovacijni tekhnologii harchovoї produkції funkcional'nogo priznachennya. Harkiv: HDUHT. 591 p. [in Ukrainian].
5. Yatsenko V.M. (2017) Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 619 p. [in United Kingdom].
6. Gamayunova V.V. (2020) Innovacionnye tekhnologii v zhizni sovremennogo cheloveka. Odesa: Kuprienko SV. 209 p. [in Ukrainian].
7. Preobrazhenskij A.P. (2019) Uroven' razvitiya tekhniki i tekhnologii v HKHI veke. Odesa: Kuprienko S.V. 227 p. [in Ukrainian].
8. Lvovych Y.Ia., Nekrasov V.A., Preobrazhenskiy A.P. (2016) Perspektivni trendy razvytku nauky: tekhnika i tekhnologii. Odesa. Kuprienko SV. 197 p. [in Ukrainian].
9. Chepurda H.M. (2021) Stratehii staloho rozvytku v turyzmi ta hotelno-restorannomu biznesi: mozhlyvosti i problemy zaprovadzhennia v Ukraini. Cherkasy. ChDTU. 189 p. [in Ukrainian].
10. Brovenko T.V., Antonenko A.V. and others (2021) Wissenschaft für den modernen Menschen: wirtschafts, management, marketing, tourismus, rechts und politikwissenschaften. Monografische Reihe "Europäische Wissenschaft". Buch 4. Teil 6. [in Germany].
11. Kryvoruchko M.Iu. (2012) Strukturno-mekhanichni vlastyvoli prisnoho tista z boroshna proroshchenoho zerna pshenytsi. *Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky"*, no. 1, pp. 82–88.
12. Mykhailyk V.S. (2016) Tekhnologhiia ta yakist pechyva zi shrotamy oliinykh kultur. *Kharchova nauka i tekhnologhiia: nauково-vyrobnychiy zhurnal*, no. 1, pp. 72–77.
13. Antonenko A.V. (2014) Boroshno z proroshchenoho zerna vivsa yak osnova dlia boroshnaniykh kondyterskykh vyrobiv. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnologii*, no. 46 (1), pp. 149–153.
14. Zemlina U.V. (2019) Tekhnologiya boroshnyanih stрав na osnovi netradicijnoi sirovini. *Naukovij zhurnal "Vcheni zapiski" TNU im. V.I. Vernads'kogo. Seriya "Tekhnichni nauki"*, vol. 30 (69), no. 4, pp. 77–82.

УДК 378.147:664

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.17>

## КЕЙС-МЕТОД У ФОРМУВАННІ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАПРЯМУ (СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 181 ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ) НА ЗАНЯТТЯХ З УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ (ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ)

**Варнавська І. В.** – кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри професійної освіти  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3061-0665

У статті розглянуто кейс-метод як одним із методів вирішення складних проблем, які не мають чіткої структури і передбачають застосування студентами свого творчого потенціалу і креативності. Визначено, що для цього методу характерна наявність актуальної проблеми чи ситуації, дійових осіб, драматичної складової і необхідності вибору. Поряд із цим, у кейс-методі беруть участь суб'єкти, які зіштовхнулися з конкретною проблемою чи ситуацією у реальному житті. Доведено, що мета кейсів – детальний аналіз, а не оцінювання (особливо, завчасне оцінювання). Навчання за допомогою кейсів розвиває здатність аналізувати, уникати помилок, які часто виникають під час виконання конкретних завдань. Кейс має задовольняти такі вимоги: відповідати чітко поставленій меті; мати відповідний рівень складності; ілюструвати різні аспекти життя; мати національне забарвлення; бути актуальним; ілюструвати типові ситуації; розвивати аналітичне мислення; провокувати дискусію; мати кілька рішень.

З'ясовано, що участь студентів у практичній діяльності щодо опрацювання кейс-ситуації сприяла розвитку їх інтелектуальних і комунікаційних здібностей, формуванню інформаційної грамотності, а відповідно і комунікативної компетентності. Визначено, що застосування кейс-технології сприяло формуванню таких ключових і професійних компетенцій студентів технологічного напрямку: уміння швидко знайти необхідну інформацію з теми та її важливі положення; уміння користуватися здобутою інформацією у практичних ситуаціях; засвоєння конкретних знань з галузі технологій в обсязі навчального плану ЗВО, а також у розширеному обсязі. Доведено, що застосування кейс-методу у роботі зі студентами технологічного напрямку дозволяє підготувати майбутнього фахівця. Долучити його до роботи у сучасних динамічних умовах виробництва та соціуму, сформувати і розвинути компетенції, які необхідні сучасному професіоналу.

**Ключові слова:** кейс-метод, технологічний напрям, комунікативна компетенція, заняття з української мови (за професійним спрямуванням).

### **Varnavska I. V. A case method in the formation of communicative competence of students of the technological direction (specialty 181 Food technologies) in Ukrainian language classes (by professional direction)**

The article examines the case method as one of the methods of solving complex problems that do not have a clear structure and requires students to use their creative potential and creativity. It was determined that it is characterized by the presence of an actual problem or situation, actors, a dramatic component and the need to make a choice. Along with this, the case method involves subjects who have encountered a specific problem or situation in real life. It has been proven that the purpose of case studies is detailed analysis, not evaluation (especially early evaluation). Thus, learning with the help of cases develops the ability to analyze, avoid mistakes that often occur during the performance of specific tasks. The case must meet the following requirements: meet a clearly set goal; have an appropriate level of complexity; illustrate different aspects of life; have a national color; be relevant; illustrate typical situations; develop analytical thinking; provoke discussion; have several solutions. It was determined that the use of case technology contributed to the formation of the following key and professional competencies of technological students: the ability to quickly find the necessary information on the topic and its important provisions; the ability to use the acquired information in practical situations; assimilation of specific knowledge in the field of technologies in the scope of the curriculum of higher education institutions, as well as in an extended scope. It has been proven that the use of the case method in working with students of the technological direction allows you to prepare a future specialist.

*It was found out that the students' participation in practical activities related to working out the case situation also contributed to the development of their intellectual and communication abilities, the formation of information literacy, and accordingly, communicative competence. To involve him in the work in the modern dynamic conditions of production and society, to form and develop the competencies that are necessary for a modern professional.*

**Key words:** case method, technological direction, communicative competence, Ukrainian language classes (for professional direction).

**Вступ.** На сьогодні освіту необхідно розглядати як джерело стабільного і прогресивного розвитку. Все частіше виникають нові цілі та завдання освіти, що орієнтовані на підготовку фахівців у різних професійних напрямках, здатних незалежно і ефективно вести діяльність в умовах постійно змінних тенденцій і швидкого ритму життя. Виходячи з цього, зміни стосуються і освітньої практики, а також висуваються нові вимоги до технологій в галузі освіти.

Вважаємо, що будь-яка освітня технологія має відповідати параметрам:

- дозволяти студентам самостійно організовувати процес засвоєння матеріалу;
- мотивувати студентів до різних видів діяльності;
- опрацювати різні джерела інформації, враховуючи те, що інформація є засобом організації діяльності, а не метою навчання, як було раніше;
- допускати організацію взаємодії груп;
- припускати пізнавальну діяльність у кількох напрямках.

І, нарешті, вона повинна бути технологією контекстного навчання, що дозволить вирішувати значну кількість професійних завдань.

**Мета наукової роботи:** проаналізувати особливості використання кейс-методу на заняттях з української мови (за професійним спрямуванням) як засобу формування комунікативної компетентності студентів спеціальності 181 Харчові технології.

**Аналіз наукових досліджень.** Метод кейсу у вітчизняній лінгводидактиці набуває все більшої популярності. Кейс-технологія як синтез проблемного навчання української мови у закладах освіти, метод проєктів, інформаційно-комунікативних технологій є об'єктом вивчення наукових досліджень З. Бакум, О. Горошкіної, С. Карамана, І. Кучеренко, А. Нищети, М. Пентиліук, Л. Рускуліс, Л. Попової, Н. Солодюк та інших дослідників.

Метод кейсів або кейс-метод є одним із методів вирішення складних проблем, які не мають чіткої структури і передбачають застосування студентами свого творчого потенціалу і креативності. Для нього характерна наявність актуальної проблеми чи ситуації, дійових осіб, драматичної складової і необхідності робити вибір. Поряд із цим, у кейс-методі беруть участь суб'єкти, які зіштовхнулися з конкретною проблемою чи ситуацією у реальному житті.

**Виклад основного матеріалу.** Метою застосування кейс-методу у процесі формування комунікативної компетентності студентів технологічного напряму на заняттях з української мови (за професійним спрямуванням) є:

- активізація і мотивація пізнавальної діяльності студентів, заохочення до опрацювання інформації, що буде необхідною в майбутній професійній діяльності фахівця в напрямі «Харчові технології»;
- актуалізація необхідності вивчення української мови, адже в вільно доступних джерелах студент знаходить багато потрібної інформації, пов'язаної із майбутньою професійною діяльністю;
- розвиток комунікативних умінь і навичок, вербальної комунікації українською мовою, що реалізується у формі діалогової взаємодії студента з комп'ютером,

із викладачем, взаємодії студентів у парах і мікрогрупах за допомогою інформаційних комп'ютерних технологій;

– формування навичок професійної комунікативної поведінки у колективі, вміння аналізувати характер міжособистісних стосунків у різних ситуаціях спілкування (під час проведення уроків і тренувань).

Особливості методу кейсів полягають у тому, що найчастіше кейс-метод здійснюється у аудиторії, тобто підготовчий етап складається з самостійної роботи і педагога та студентів поза аудиторією. Завдання викладача на цьому етапі у тому, щоб зробити відповідну підготовку, що означає:

– виявлення фактів і визначення характеру взаємовідносин учасників у процесі застосування методу – під час реалізації проблеми кейсу;

– моделювання ситуації, її початку, розвитку, завершення;

– визначення питань, аргументів і контраргументів, які можуть виникнути в учасників (питання повинні бути показником для студентів для правильного напрямку).

Студенти на підготовчому етапі вивчають наданий викладачем текст ситуації (кейсу) і виконують необхідні завдання, які до нього належать.

Варто наголосити, що мета кейсів – детальний аналіз, а не оцінювання (особливо, завчасне оцінювання). Так, навчання за допомогою кейсів розвиває здатність аналізувати, уникати помилок, які часто виникають під час виконання конкретних завдань. Кейс має задовольняти такі вимоги: відповідати чітко поставленій меті; мати відповідний рівень складності; ілюструвати різні аспекти життя; мати національне забарвлення; бути актуальним; ілюструвати типові ситуації; розвивати аналітичне мислення; провокувати дискусію; мати кілька рішень.

Враховуючи, що заняття з дисципліни «Українська мова (за професійним спрямуванням)» проводиться лише 1 раз на тиждень, етапи використання методу-кейсу мали лише фрагментарний характер. На кількох заняттях, коли відбувався аналіз фахової термінології доречним був цей метод.

Отже, застосування кейс-методу на заняттях передбачає такі дії:

#### 1. Представлення кейсу

Створення ситуація психологічного комфорту і зацікавленості у діяльності; розподіл студентів за групами. За п'ять днів кожен здобувач отримував картку зі словосполученнями; на екрані були позначені висловлювання про технологічні процеси та їх значення у житті людини. Студенти повинні зорієнтуватися, «зібрати» висловлювання і таким чином розподілитися на групи. Кілька прикладів запропонованих висловлювань: Білл Гейтс: *«Технології – це всього лише інструмент»*, Октавіо Пас: *«Технології не є відображенням світу, а способом управління реальністю. Нігілізм технологій полягає не тільки в тому, що вони є найбільш досконалим вираженням волі до влади ... а також у тому, що їм не вистачає сенсу»*; Алан Кей: *«Технологія – це те, чого не було, коли ви народилися»*; Натан Мірволд: *«Ми живемо в суспільстві, де технології є дуже важливою частиною бізнесу, нашого повсякденного життя. І всі технології починаються з іскор в чийсь голові. Ідея чогось, чого раніше не існувало, але одного разу буде винайдено, може змінити все. І ця діяльність, як правило, не дуже добре підтримується»*. Після формування груп відводився час щодо розподілу обов'язків усередині кожної групи.

З метою аналізу/діагностики ситуації метод кейсів включає і етап діагностики ситуації, який складається з трьох частин:

– перша частина – описується реальний стан об'єкта з урахуванням конкретних параметрів;

– друга частина – має бути стан об'єкта з урахуванням конкретних параметрів;

– третя частина – порівнюються реальний і має бути стан об'єкта.

Якщо відмінностей не знайдено, практична діяльність з об'єктом може бути продовжена. Якщо ж відмінності вдається зафіксувати, визначається тип цих відмінностей і розробляються можливі способи їх усунення.

## 2. Ознайомлення зі змістом кейсу

На цьому етапі відбулося ознайомлення здобувачів із його змістом: кожна група отримала картку з інформацією і питаннями для обговорення. Майбутні фахівці технологічного напрямку аналізували фактичний матеріал про «біологічно активні добавки (БАД)» за питаннями: 1) яка мета застосування біологічно активних добавок; 2) як БАДи впливають на організм людини? Здобувачі орієнтувалися на запропоновані теоретичні положення:

### ***Теоретичні положення № 1***

Біологічно активні добавки (БАД) – речовини або їх суміші, що використовуються для надання раціону харчування спеціальних лікувальних чи лікувально-профілактичних властивостей.

Спеціальні харчові продукти (СХП) – лікувальні, дієтичні, лікувально-профілактичні та біологічно активні харчові добавки, продукти дитячого харчування та харчування для спортсменів.

Харчові добавки (ХД) – природні чи синтетичні речовини, які спеціально вводяться у харчовий продукт для надання йому бажаних властивостей.

Нормативні документи – стандарти, технічні умови, інші нормативно-технічні документи на продукцію, а також державні санітарні норми, правила, гігієнічні нормативи (санітарні норми) – обов'язкові для виконання нормативні документи, що визначають критерії безпеки та (або) нешкідливості для людини факторів виробничого та природного навколишнього середовища і ставлять вимоги щодо забезпечення оптимальних чи допустимих умов праці і життєдіяльності людини [3].

### ***Теоретичні положення № 2***

Дієтичні добавки можуть бути корисні для людей з певними медичними показаннями. Ці показання має визначити лише лікар. Наприклад, дорослим, у яких остеопороз, часто потрібна додаткова доза вітаміну D та кальцію. Зокрема, вони необхідні людям з хворобою Крона або целиацією, коли виникають труднощі з засвоєнням певних поживних речовин. В іншому випадку – найкращим варіантом є забезпечення організму вітамінами та мінералами з допомогою здорового раціону харчування.

Проте навіть під час вживання БАДів, не варто забувати про звичайну здорову їжу. Жодна добавка не здатна замінити повноцінний раціон. Саме їжа має бути першоджерелом всіх корисних речовин.

Зважаючи на всі ризики, пов'язані з прийомом добавок – завжди консультируйтесь з лікарем щодо їх споживання. А якщо прийшли до іншого фахівця, який не знає, що ви приймаєте БАДи, завжди кажіть йому про це. Адже взаємодія деяких добавок з ліками може мати небезпечні наслідки для здоров'я [2].

### ***Теоретичні положення № 3***

Біологічно активна добавка (БАД або як зазначено в українському законодавстві – «дієтична добавка») – це вітамінні, вітамінно-мінеральні або трав'яні яні добавки окремо та/або в поєднанні у формі пігулок, таблеток, порошоків, які приймаються перорально одночасно з їжею або додаються до їжі в межах фізіологічних норм, для додаткового, у порівнянні зі звичайним харчуванням, споживання



цих речовин. Дієтичні добавки (БАДи) також містять або включають різні речовини або суміші цих речовин, у тому числі протеїни, вуглеводи, амінокислоти, їстівні масла, екстракти рослинних і тваринних матеріалів, що вважаються необхідними або корисними для харчування та загального самопочуття людини.

В 2015 році в ході реформування системи охорони здоров'я процедура реєстрації БАДів була змінена. У зв'язку з цим висновки санітарно-епідеміологічної експертизи на Баді не видаються. Їм на зміну прийшли інші документи, що підтверджують якість та безпеку дієтичних добавок, а саме:

- протокол лабораторних досліджень на дієтичні добавки;
- узгодження тексту етикетки;
- звіт про віднесення продукції до категорії БАДів (дієтичних добавок) та на відповідність добавки українському та європейському законодавству;
- *сертифікат відповідності на БАД (дієтичну добавку)* [4].

### 3. Дискусії щодо основних положень

За підсумками аналізу цієї інформації була організована дискусія за такими проблемними питаннями: «Які підходи до створення та місце БАДів у системі здорового харчування?» «Які основні джерела виробництва дієтичних добавок?»

У процесі дискусії дуже важливо, щоб кожний учасник міг висловитись, але при цьому його позиція має бути аргументована та уточнена. Також мається на увазі і активізація тих учасників, які обговорюють пасивну позицію, і стримування найбільш активних.

Не менш важливо враховувати емоційний і проблемний аспекти. Емоційний аспект має на увазі управління емоційними станами здобувачів, а проблемний – вицелювання найважливіших питань і концентрацію уваги учасників саме на них. За підсумками дискусії здобувачі дійшли до важливих висновків.

### 4. Організація обговорення кейсу

На цьому етапі здобувачам кожної групи запропоноване ознайомлення із роботою основних виробників біологічно активних добавок. Так, наприклад, однією із найвідоміших компаній-виробників є «Біолайт». При виведенні на ринок нових продуктів будь-який виробник несе певний ризик; компанія запрошує до співпраці партнерів на взаємовигідних умовах. Основним принципом компанії «Біолайт» є контроль якості виробничого процесу та отриманого товару. Тільки працюючи з сучасним обладнанням можна бути впевненим в якості і гарантувати безпеку для здоров'я своїх споживачів. «Біолайт» надає комплексні послуги: від розробки рецептури, закупівлі компонентів, до таблетування, капсулювання, фасування і упаковки товару в форму на вибір клієнта.

*Завдання:* обговорити питання «Чи можливо створити таке товариство/компанію у м. Херсоні?»

Одноголосно студенти біолого-технологічного факультету стверджували, що подібні товариства/компанії мають велику користь. І тому перспективною у нашому місті може бути спроба організувати такі товариства, організації щодо виготовлення дієтичних добавок. Далі було обговорення питання: які знання потрібні для організації подібних товариств?

У результаті дискусії підлітки визначили певні питання, які необхідно опрацювати, тобто проаналізувати, відшукати додаткову інформацію, для досягнення мети.

### 5. Презентації

Були визначені завдання для групової роботи і взаємодії здобувачів чотирьох груп. Робота над виконанням цих завдань відбувалася протягом тижня. Студенти

працювали самостійно, роль викладача у цьому випадку полягала в проведенні консультацій і допомозі у відборі та аналізі інформації.

Далі на заняттях кожна група презентувала проаналізований та опрацьований матеріал.

#### 6. Підбиття підсумків роботи

Після кожної презентації відбувалося обговорення із елементами дискусії з таких питань: «Як ви вважаєте, що є першим кроком для створення подібних товариств/компаній?» Спільними зусиллями підлітки зробили висновок, що створення організацій, компаній починається із розробки бізнес-плану. Аспекти роботи подібних компаній і удосконалення цього напрямку – обговорили здобувачі. Завершали розгляд цієї проблеми (реалізація основного замислу та мети розглянутої кейс-ситуації): визначити можливості та перспективи майбутніх фахівців в галузі харчова технологія.

**Висновки.** Таким чином, застосування кейс-технології сприяло формуванню таких ключових і професійних компетенцій студентів технологічного напрямку:

- уміння швидко знайти необхідну інформацію з теми та її важливі положення;
- уміння користуватися здобутою інформацією у практичних ситуаціях;
- засвоєння конкретних знань з галузі технологій в обсязі навчального плану ЗВО, а також у розширеному обсязі.

Як завершення можна використовувати також такі варіанти: подати коротке резюме на підставі висновків, зроблених протягом заняття; поставити додаткові питання, які в процесі заняття не обговорювалися; надати нові дані (якщо діагностика кейсу не дозволила вирішити проблему, можна запропонувати додаткові дані з теми подальшого розвитку подій, реалізованих у кейсі).

Участь студентів у практичній діяльності щодо опрацювання кейс-ситуації сприяла також розвитку їх інтелектуальних і комунікаційних здібностей, формуванню інформаційної грамотності, а відповідно і комунікативної компетентності.

На нашу думку, застосування кейс-методу у роботі зі студентами технологічного напрямку дозволяє підготувати майбутнього фахівця. Долучити його до роботи у сучасних динамічних умовах виробництва та соціуму, сформувати і розвинути компетенції, які необхідні сучасному професіоналу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Варнавська І.В. Специфіка використання кейс-методу на заняттях з української мови (за професійним спрямуванням). *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference “Scientific Research in XXI Century”* (December 16–18, 2019). Ottawa, Canada : Methuen Publishing House, 2019. P. 129–138.
2. Міністерство охорони здоров'я України. «Що таке БАДи і чи корисні вони для здоров'я» URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/shcho-take-badi-i-chi-korisni-voni-dlya-zdorovya-moz>
3. Наказ про організацію державного контролю за якістю та безпекою спеціальних харчових продуктів, біологічно активних добавок та харчових добавок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0556-99#Text>
4. Реєстрація та сертифікація БАД (дієтичних добавок). URL: <https://brand-ua.com.ua/ua/p10007024-reyestratsiya-sertifikatsiya-bad.html>

**REFERENCES:**

1. Varnavska I.V. (2019). Spetsyfika vykorystannya keys-metodu na zanyattakh z ukrayinskoyi movy (za profesiynym spryamuvannyam) [The specifics of the use of the case method in Ukrainian language classes (for professional orientation)]. *Protsedury 1st International Scientific and Practical Conference "Scientific Research in XXI Century"* (12–18 hrudnya, 2019). Ottawa, Canada: Methuen Publishing House. 129–138 [in Ukrainian].
  2. Ministerstvo okhorony zdorovya Ukrayiny. "Shcho take BADy i chy korysni vony dlya zdorovya" [What are dietary supplements and are they good for health] URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/shcho-take-badi-i-chi-korisni-voni-dlya-zdorovya-moz> [in Ukrainian].
  3. Nakaz pro orhanizatsiyu derzhavnoho kontrolyu za yakistyu ta bezpekoyu spetsialnykh kharchovykh produktiv, biolohichno aktyvnykh dobavok ta kharchovykh dobavok. [Order on the organization of state control over the quality and safety of special food products, biologically active additives and food additives]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0556-99#Text> [in Ukrainian].
  4. Reyestratsiya ta sertyfikatsiya BAD (diyetychnykh dobavok). [Registration and certification of dietary supplements (dietary supplements)]. URL: <https://brand-ua.com.ua/ua/p10007024-reyestratsiya-sertyfikatsiya-bad.html> [in Ukrainian].
-

УДК 664.661.2:005.591.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.18>

## РОЗВИТОК ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СТВОРЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

**Горач О. О.** – доктор технічних наук,  
доцент кафедри інженерії харчового виробництва  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002

**Олейникова С. О.** – здобувачка вищої освіти  
другого (магістерського) рівня першого року навчання  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0009-0006-5435-5271

В статті розглянуто питання, щодо розвитку інноваційних технологій з метою створення продуктів харчування нового покоління. За оцінками експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я, стан здоров'я людини великою мірою залежить від способу життя, в тому числі від харчування. Встановлено, що на сьогоднішній день в нашій країні асортимент харчових продуктів для осіб, які страждають генетично зумовленими та алергічними захворюваннями недостатньо широкий й різноманітний. Однією з таких хвороб є целиакія (глутенова ентеропатія) – мультифакторне, прогресуюче захворювання, яке викликане пошкодженням ворсинок тонкої кишки деякими харчовими продуктами, що містять білок глютен (клейковину). Наслідком цього може стати повна атрофія слизової оболонки тонкого кишечнику. Із целиацією пов'язаний синдром мальабсорбції внаслідок непереносимості гліадину (α фракція) – компоненту білка глютену пшениці, жита, ячменю та вівса, що має тенденцію до зворотного розвитку та повного відновлення слизової оболонки за умови суворого дотримання дієти. Мільйони людей у всьому світі стали споживати продукти, що не містять глютену, не лише внаслідок діагностики целиакії, а й через загальне уявлення про підтримку здоров'я та профілактику хвороб. Інтенсифікація маркетингової діяльності та покращення каналів збуту сприяють необхідності виробництва продуктів, що не містять глютену.

Одним зі способів реалізації державної політики в галузі здорового харчування населення України є розробка високоєфективних технологій у переробних галузях агропромислового комплексу, пошук нових вітчизняних сировинних джерел та створення продуктів харчування нового покоління, збагачених есенційними мікронутрієнтами. Виробництво таких продуктів дозволить розширити асортимент вітчизняних виробників хлібопекарських виробів та дасть змогу замінити дорого імпортовану безглютенову продукцію власною, щорічно відновлюваною рослинною сировиною. Крім того, актуальним завданням є впровадження у вітчизняне виробництво інноваційних технологій із використанням рослинної вітчизняної сировини функціонального призначення для кафе, ресторанів та інших закладів громадського харчування. На основі світового досвіду можна зробити висновок, що впровадження у вітчизняне виробництво інноваційних технологій з метою створення продуктів харчування нового покоління для людей, які страждають на непереносимість глютену є важливим завданням сьогодення.

**Ключові слова:** інноваційні технології, безглютенова продукція, виробництво.

### **Gorach O. O., Oleinikova S. O. Development of innovative technologies for the creation of new generation food products**

The article deals with the issue of the development of innovative technologies for the purpose of creating food products of a new generation. According to experts of the World Health Organization, a person's health largely depends on lifestyle, including nutrition. It has been established that today in our country the range of food products for people suffering from genetically determined and allergic diseases is not sufficiently wide and diverse. One of these diseases is celiac disease (gluten enteropathy) – a multifactorial, progressive disease caused by damage to the villi of the small intestine by certain foods containing the gluten protein. This can result in complete atrophy of the mucous membrane of the small intestine. Celiac disease is

*associated with a malabsorption syndrome due to intolerance to gliadin ( $\alpha$  fraction), a protein component of wheat, rye, barley and oat gluten, which has a tendency to reverse development and complete restoration of the mucous membrane under strict diet. Millions of people around the world have started eating gluten-free foods, not only as a result of being diagnosed with celiac disease, but also because of the general perception of health promotion and disease prevention. Intensification of marketing activities and improvement of distribution channels contribute to the need for production of gluten-free products.*

*Research results. One of the ways to implement the state policy in the field of healthy nutrition of the population of Ukraine is the development of highly effective technologies in the processing branches of the agro-industrial complex, the search for new domestic sources of raw materials and the creation of new generation food products enriched with essential micronutrients. The production of such products will allow to expand the range of domestic manufacturers of bakery products and will make it possible to replace expensive imported gluten-free products with our own, annually renewed plant raw materials. In addition, an urgent task is the implementation of innovative technologies in domestic production with the use of domestic vegetable raw materials of functional purpose for cafes, restaurants and other public catering establishments.*

*Conclusions. Based on world experience, it can be concluded that the introduction of innovative technologies into domestic production in order to create new generation food products for people suffering from gluten intolerance is an important task today.*

**Key words:** *innovative technologies, gluten-free products, production.*

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останніх років виробництво безглютенової продукції набуло великої популярності у світі. Відповідно до тенденцій зростає кількість алергічних захворювань викликана не засвоюваністю певних харчових сполук, зокрема глютену. Важливим чинником здоров'я нації є повноцінне харчування населення, у зв'язку з цим проблема вивчення механізмів здоров'я та шляхів його збереження є надзвичайно актуальною. Харчові продукти призначені для дієтичного харчування людей, є харчовими продуктами, які через свій особливий склад або особливий процес виготовлення значно відрізняються від харчових продуктів для звичайного споживання, які відповідають поставленій меті забезпечення дієтичного харчування і реалізуються так, щоб було ясно, що вони відповідають цій меті. Дієтичне харчування повинне відповідати спеціальним вимогам, що пред'являються до харчування деяких категорій споживачів з порушеним процесом засвоєння глютену в організмі. Останнім часом виробництво безглютенової продукції набуло великої популярності у світі через зростання кількості алергічних захворювань викликаних непереносимістю певних харчових сполук, зокрема глютену. Основну частку безглютенової продукції в Україні становить продукція закордонного виробництва, тому питання використання альтернативних видів рослинної сировини для заміни традиційного борошна, що містить глютен, набуває неабиякого значення та потребує глибоких теоретичних та експериментальних досліджень [1–3].

Глобальний продовольчий ринок харчових продуктів та інгредієнтів, що не містить глютену, поділяється за регіонами: Європа (Велика Британія, Німеччина, Угорщина, Франція, Італія, Іспанія, Бельгія, Нідерланди, Люксембург та ін.); Північна Америка (США та Канада); Латинська Америка (Бразилія, Мексика та ін.); Азійсько-Тихоокеанський регіон (Китай, Японія, Сінгапур, Індія, Австралія, Нова Зеландія та ін.); Близький Схід і Північна Африка. Європейський ринок безглютенових харчових продуктів посідає найбільшу частку світового ринку через обізнаність споживачів щодо здорового харчування [4; 5].

Світовий ринок виробництва безглютенових продуктів харчування інтенсивно зростає – такого різноманіття безглютенових продуктів раніше не відзначалося. За 2014–2016 рр. в Європі асортимент безглютенових продуктів зріс удвічі – з 6 до 12 тис. найменувань. Це пов'язують із алергічними захворюваннями населення,

зі збільшенням медичних показань, поширенням інформації для споживачів, загальним трендом здорового харчування.

Високий попит на безглютенові продукти стимулює зростання ринку. У 2014 р. глобальний ринок безглютенових продуктів харчування становив понад 4 млрд дол. США. За прогнозом, до 2020 р. світовий ринок безглютенових продуктів збільшиться майже удвічі відносно 2013 р.

Одним зі способів реалізації державної політики в галузі здорового харчування населення України є розробка інноваційних технологій з метою створення продуктів харчування нового покоління, збагачених усіма необхідними есенційними мікронутрієнтами необхідних для нормального функціонування організму людини [6].

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка інноваційних технологій з метою створення продуктів харчування нового покоління, збагачених усіма необхідними есенційними мікронутрієнтами необхідних для нормального функціонування організму людини.

**Виклад основного матеріалу.** Для хворих на целиакію в багатьох країнах розроблені та випускаються безглютенові борошняні суміші для випічки, заміники хліба, печива, макаронних виробів тощо. Відповідно до міжнародного стандарту, встановленого Codex Alimentarius, продовольство, в якому вміст глютену не перевищує 20 мг/кг в загальній масі харчового продукту, у тому вигляді, як його продають або передають споживачу може маркуватися «без глютену». Використання терміну «без глютену» дозволено Регламентом ЄС № 41/2009, який застосовується до харчових продуктів для людей, що не переносять клейковину. Регламент Комісії застосовується до всіх харчових продуктів (включаючи алкоголь, харчові добавки тощо), у фасованій упаковці та без упаковки, крім дитячих сумішей [7].

Ці продукти позначаються на упаковці символом «перекреслений колосок». При їх виробництві особливу увагу приділяють чистоті сировини – повинні бути виключені найменші домішки токсичних для хворих на целиакію злаків. У Європі сертифікуючим органом виступає Європейська Асоціація Спілок Целиакиї (АОЕКС) – це некомерційна організація, що об'єднує 35 європейських національних громадських товариств хворих на целиакію. Її ліцензійний символ у вигляді перекресленого колоска, використання якого надається компаніям, чия продукція відповідає вимогам АОЕКС до безглютенових продуктів харчування, означає безпеку цих продуктів для споживачів.

На рис. 1 наведено асортимент безглютенової продукції у відсотковому співвідношенні.

Відомо, що в якості сировини для виробництва безглютенової продукції використовується амарантове, соєве, арахісове, горохове, гречане борошно, а також різні види крохмалів. Найбільшу частку ринку становлять хлібобулочні вироби, що не містять глютену.

Обсяг виробництва безглютенових продуктів харчування в період з 2013–2020 рр. подано на рис. 2. Аналізуючи об'єми виробництва продуктів харчування на основі використання безглютенової сировини, можна зробити висновок, що з кожним роком спостерігається стрімке збільшення даного сектору виробництва, що пов'язано зі збільшенням кількості захворювань, а отже потребує особливої уваги науковців галузі та виробників з метою розробки та впровадження інноваційних технологій для створення продуктів харчування нового покоління.

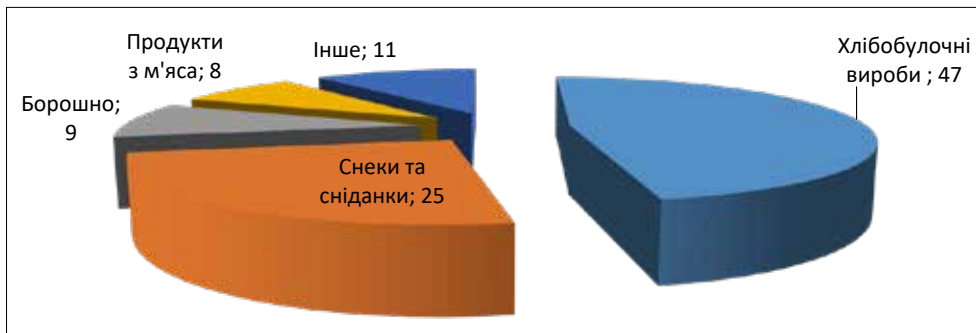


Рис. 1. Асортимент безглютенової продукції, %

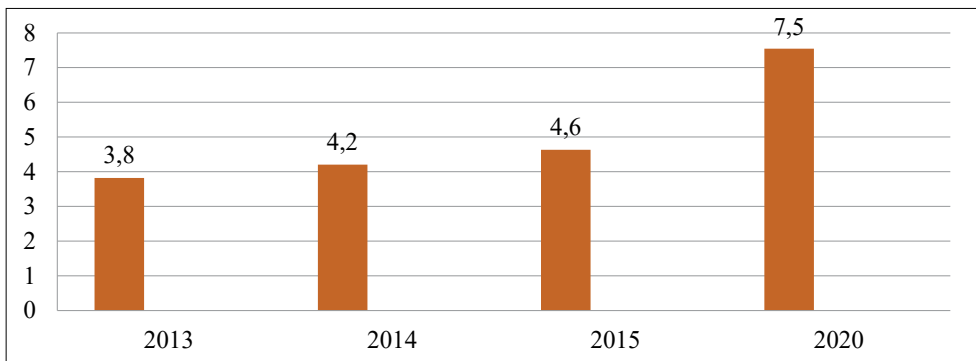


Рис. 2. Виробництва безглютенових продуктів харчування в 2013–2020 рр.

На сьогодні в Україні кількість виробників, які займаються виробництвом безглютенової продукції має тенденцію до зростання. На вітчизняному ринку можна зустріти продукцію, з надписом “Gluten free”, «вільний від глютену». Для виробників розроблено та діє з 2017 р. знак якості «Перекреслений колосок», який свідчить, що виробник дотримується всіх європейських стандартів для виготовлення безглютенової продукції та перевіряється за усіма правилами і проходить контроль на виробництві. Вітчизняний ринок безглютенових продуктів почав формуватися лише в 2018 році, до цього основні позиції і потреби закривав імпортом. В 2019 р. в Україні було підписано перший договір про використання виробником ТМ «Перекреслений колосок» ВГО «Українська спілка Целиакії» повідомляє, що відбулося підписання першого ліцензійного договору на використання ТМ «Перекреслений колосок», що стало важливою подією та прикладом європейських стандартів безпеки на харчовому виробництві в Україні [8].

Безглютенова їжа стала характерною рисою харчування і життя в третьому тисячолітті. Зростання кількості хворих на непереносимість глютену та целиакію зумовлює збільшення споживання безглютенових харчових продуктів. Окрім того, мільйони людей у всьому світі стали споживати продукти, що не містять глютену, не лише через діагностику целиакії, а й через загальне уявлення про підтримку здоров'я та профілактику хвороб. Інтенсифікація маркетингової діяльності та покращення каналів збуту сприяють необхідності виробництва продуктів, що не містять глютену.

На основі проведених досліджень, можна зробити висновок, що на сьогодні основну частку ринку безглютенових продуктів харчування в Україні займають продукти імпортного виробництва, але виробництво вітчизняної безглютенової продукції збільшується та потребує проведення глибоких досліджень та тісної співпраці виробників з метою створення продуктів харчування нового покоління.

**Висновки.** Проведений аналіз виробництва безглютенової продукції функціонального призначення дозволяє зробити висновок, що на сьогодні основну частку на ринку безглютенових продуктів харчування в Україні займають продукти імпортного виробництва. Світовий досвід дозволяє зробити висновок, що на сьогодні існує досить широкий вибір безглютенової продукції, але вітчизняний ринок потребує проведення глибоких наукових досліджень з розробки інноваційних технологій з метою створення продуктів харчування нового покоління.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Statistics and facts on the gluten-free foods market in the U.S. 2016. URL: <https://www.statista.com/topics/2067/gluten-free-foods-market> [in England].
2. Rewers M. Epidemiology of celiac disease: what are the prevalence, incidence, and progression of celiac disease? *Gastroenterology*. 2005, Vol. 128. P. 47–51.
3. Association of European Coeliac Societies, AO ECS. URL: <http://aoecs.org/research>.
4. Ринок безглютенових продуктів: великий потенціал поки ще сплячої потреби: веб-сайт. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/rinok-bezglutenovih-produktiv-velikij-potencial-poki-se-splacoi-potrebi>
5. Горач О.О., Кіпіоро І.М., Гусар А.О. Використання альтернативних видів сировини з метою розробки нових безглютенових рецептур. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон, 2022. Вип. 5. С. 38–44.
6. Михалик К.В., Гусар А.О., Горач О.О. Нові тенденції та особливості виробництва піци в сучасних умовах. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 303–306. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/materialy-3-mnpk-tehnichne-zabezpechennja-innovacijnyh-tehnolohij-v-ahropromyslovomu-kompleksi-m-melitopol-01-26.11.2021.pdf>
7. Михалик К.В., Гусар А.О., Горач О.О. Сучасний стан виробництва, якість та безпека хлібобулочних виробів. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку* : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня працівника сільського господарства, 17 листопада 2021 р. м. Херсон. С. 315–319. URL: <http://dSPACE.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7315>
8. Михалик К.В., Гусар А.О., Горач О.О. Аналіз виробництва безглютенової продукції функціонального призначення на основі використання вітчизняної сировини. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 6. С. 94–100. URL: <http://dSPACE.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7867>

### REFERENCES:

1. Statistics and facts on the gluten-free foods market in the U.S. 2016. Retrieved from <https://www.statista.com/topics/2067/gluten-free-foods-market> [in England].
2. Rewers M. Epidemiology of celiac disease: what are the prevalence, incidence, and progression of celiac disease? *Gastroenterology*. 2005, Vol. 128. P. 47–51.
3. Association of European Coeliac Societies, AO ECS. URL: <http://aoecs.org/research>



4. Rynok bezgliutenovykh produktiv: velykyi potentsial poky shche spliachoi potreby: veb-sait. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/rinok-bezglutenovih-produktiv-velikij-potencial-poki-se-splacoi-potrebi>

5. Ghorach O.O., Kipioro I.M., Ghusar A.O. (2022) Vykorystannia alternatyvnykh vydiv syrovyny z metoiu rozrobky novykh bezgliutenovykh retseptur. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky / Khersonskiy derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet*. Kherson. № 5. P. 38–44.

6. Mykhalyk K.V., Ghusar A.O., Ghorach O.O. (2021) Novi tendenciji ta osoblyvosti vyrobnyctva picy v suchasnykh umovakh [New trends and features of pizza production in modern conditions]. *Proceedings of the Tekhnichne zabezpechennja innovacijnykh tekhnologij v aghropromyslovomu kompleksi: Materialy III Mizhnarodnoji naukovo-praktychnoji konferenciji* (Ukraine, Melitopolj: TDATU, 2021) Melitopolj: TDATU, P. 303–306.

7. Mykhalyk K.V., Ghusar A.O., Ghorach O.O. (2021) Suchasnyj stan vyrobnyctva, jakistj ta bezpeka khlibobulochnykh vyrobiv [The current state of production, quality and safety of bakery products]. *Suchasna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku: materialy IV Vseukrajinskoji naukovo-praktychnoji konferenciji molodykh vchenykh z naghody Dnja pracivnyka siljskogho ghospodarstva* (Ukraine, Kherson, 17 November 2021) Kherson. P. 315–319. URL: <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7315>

8. Mykhalyk K.V., Ghusar A.O., Ghorach O.O. (2021) Analiz vyrobnyctva bezghljutenovoji produkciji funkcionaljnogho pryznachennja na osnovi vykorystannja vitchyznjanoji syrovyny [Analysis of the production of gluten-free functional products based on the use of domestic raw materials]. *Tavrijskij naukovyj visnyk*, № 6. P. 94–100. URL: <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7867>

УДК 664.162.1

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.19>

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАТИВНОЇ КОНВЕРСІЇ КРОХМАЛЮ З МЕТОЮ ОДЕРЖАННЯ МАЛЬТИНУ

**Деменюк О. М.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології цукру і підготовки води  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0009-0009-8640-6055

**Грабовська О. В.** – доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри технології і організації ресторанного господарства  
Державного торговельно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6462-3790  
Researcher ID: E-4776-2019

**Сабадаш Н. І.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології жирів, хімічних технологій  
харчових добавок та косметичних засобів  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-1457-0616

Особливим попитом у харчовій промисловості користуються мальтини з низьким ступенем розщеплення (5...8 %). Вони є гарними заміниками жиру в продуктах низької жирності і пониженої калорійності, оскільки утворюють м'які терморверсивні драгли, які при підвищеній температурі плавляться, а при низьких температурах знову застигають. За кімнатної температури такі драгли імітують зовнішній вигляд, смак і текстуру, властиву насиченим жирам та багатьом жирним харчовим продуктам.

Аналіз існуючих технологій показує, що всі вони мають один основний недолік – це складність дотримання у промислових умовах температурного режиму зі ступінчастим витримуванням температурних пауз в процесі декстринізації крохмалю. В результаті мінімальних змін у технологічному процесі отримують продукти із властивостями, відмінними від характерних для мальтинів з низьким ступенем розщеплення, втрачається терморверсивна здатність утворюваних драглів.

Проведені нами дослідження способу інтенсифікації ферментативної конверсії крохмалю електромагнітним полем надвисокої частоти (НВЧ) показали його ефективність і перспективність. Спосіб дає можливість досягти повної клейстеризації крохмальних зерен, що не відбувається при використанні інших високотемпературних способів оброблення, оскільки дрібні крохмальні зерна залишаються неклеїстеризованими навіть за температур 120...140 °С. У полі НВЧ процес гідролізу крохмалю прискорюється, порівняно з класичним способом, у 2,5 рази, а дозування ферменту  $\alpha$ -амілази на розріджування зменшується вдвічі.

На основі проведених досліджень, запропоновано удосконалити технологію мальтину, яка заснована на використанні поля надвисокої частоти. Дана технологія мальтину з низьким ступенем розщеплення дозволяє забезпечити очікуваний технологічний результат – інтенсифікацію процесу шляхом застосування енергії НВЧ та високу якість мальтину за рахунок миттєвої клейстеризації і розріджування крохмалю ферментами. Отримані мальтини здатні затримувати кристалізацію, при нагріванні плавитися та відновлюватись при охолодженні, що дає змогу застосовувати їх в якості наповнювачів та формуючих агентів у виробництві майонезу, морозива, десертів.

Структуру одержаного мальтину досліджували за допомогою Raman-спектроскопії. Спектри комбінаційного розсіювання дозволили вивчити конформаційні зміни мальтину у порівнянні з нативним крохмалем у розчинах та драглях, явища гідратації та асоціації їх молекул. Отримані спектри дали змогу пояснити причину зміни форми полісахаридного ланцюга мальтину. Наслідком вказаних змін є відмінності ступенів гідратації крохмалю

і мальтину. В свою чергу, цим можна пояснити значні відмінності у здатності до структуроутворення даних полісахаридів.

**Ключові слова:** декстринізація крохмалю, амілолітичні ферменти, модифікований крохмаль, мальтин, поле НВЧ.

***Demenyuk O. M., Hrabovska O. V., Sabadash N. I. The intensification of the process of enzymatic conversion of starch with the purpose of obtaining maltin***

*Maltins with a low degree of cleavage (5...8 %) are in particular demand in the food industry. They are good substitutes for fat in low-fat and low-calorie products, as they form soft thermoreversible gels that melt at high temperatures and solidify again at low temperatures. At room temperature, these gels mimic the appearance, taste, and texture of saturated fats and many fatty foods.*

*The analysis of the existing technologies shows that they all have one main drawback – it is the difficulty of maintaining the temperature regime in industrial conditions with stepwise endurance to temperature pauses in the process of starch dextrinization. As a result of minimal changes in the technological process, products with properties different from those characteristic of maltin with a low degree of cleavage are obtained, the thermoreversibility of the resulting gels is lost.*

*Our studies of the method of intensification of starch dextrinization by the microwave field showed its effectiveness and perspective.*

*It allows you to achieve complete klesterization of starch granules, which is impossible to do using other high-temperature intensification methods, since small starch granules remain unklesterization even at temperatures of 120...140 °C. In the microwave field, the starch hydrolysis process is accelerated by 2.5 times compared to the classical method, and to reduce the dosage of  $\alpha$ -amylase enzyme by half.*

*On the basis of the conducted research, an improved technology of maltin is proposed, which is based on the use of an ultrahigh frequency field. This technology of maltin with a low degree of splitting allows to ensure the expected technological result – intensification of the process through the use of microwave energy and high quality of maltin due to instant klesterization and hydrolysis of starch by enzymes. The obtained maltins are able to restrain crystallization, melt when heated and recover when cooled, which makes it possible to use them as fillers and forming agents in the production of mayonnaise, ice cream, and desserts.*

*The structure of the obtained maltin was studied using Raman-spectroscopy. Raman scattering spectra made it possible to study the conformational changes of maltin in comparison with native starch in solutions and in gels, hydration phenomena and association of their molecules. The obtained spectra made it possible to explain the reason for the change in the shape of the polysaccharide chain of maltin. The consequence of these changes is the difference in the degree of hydration of starch and maltin. In turn, this can explain significant differences in the ability to structure these polysaccharides.*

**Key words:** starch dextrinization, amylolytic enzymes, modified starch, maltin, microwave field.

**Вступ.** Останнім часом в світі велика увага приділяється виробництву харчових продуктів пониженої калорійності. У якості заміника жиру в цих продуктах використовують мальтодекстрин, отриманий шляхом оброблення крохмалю ферментними препаратами. Мальтодекстрин є харчовою добавкою, що використовується у якості наповнювача, стабілізатора, структуроутворювача та заміника жиру в низькокалорійних продуктах. Саме тому, дослідження ефективних способів отримання мальтодекстрину є актуальним.

Із усього розмаїття декстринів, що виробляються в світі виділяють [1; 2] п'ять основних груп:

1) декстрини, що одержують шляхом термооброблення (піролізом) сухого крохмалю без каталізаторів (палевий декстрин);

2) декстрини, що одержують піролізом сухого крохмалю з додаванням кислотних каталізаторів (білий і жовтий декстрини);

3) декстрини, що одержують піролізом сухого крохмалю з додаванням лужних каталізаторів;

4) декстрини, що одержують гідролізом суспензії крохмалю із застосуванням кислотних каталізаторів;

5) декстрини, що одержують гідролізом суспензії крохмалю із застосуванням амілолітичних ферментних препаратів у якості каталізаторів.

Останні декстрини широко використовуються у різних галузях харчової промисловості і називаються мальтодекстринами. Мальтодекстрин – відноситься до модифікованого крохмалю і є харчовою добавкою без смаку і запаху, яку одержують шляхом ферментативної конверсії крохмалю. Ступінь гідролізу крохмалю, який визначається відношенням вмісту редукувальних речовин до маси сухих речовин (ГЕ), при одержанні мальтодекстрину становить близько 20 %.

Мальтодекстрини одержують ферментативним гідролізом крохмальної суспензії концентрацією 25...30 % із застосуванням бактеріальної  $\alpha$ -амілази за рН 6,3...6,5 і температури 55...60 °С [3; 4]. Відомо, що в залежності від величини глюкозного еквівалента властивості мальтодекстринів суттєво змінюються [1–4]. За значень ГЕ 15 % і вище з'являється солодкість і зменшується в'язкість.

Особливим попитом у харчовій промисловості користуються мальтодекстрини з низьким ступенем розщеплення (ГЕ 5...8 %) – мальтини. Вони є гарними заміниками жиру в продуктах низької жирності і пониженої калорійності [5]. Мальтини містять в основному полісахариди крохмалю із середньою молекулярною масою, включаючи деяку частину коротких амілозоподібних молекул з прямим ланцюгом. Такі молекули мають тенденцію асоціювати у водній емульсії формуючи драгли. Проте, вони занадто короткі для того, щоб сформувати незворотні драгли, так як це відбувається в крохмальних ланцюгах з великою молекулярною масою. Крім того, вони містять деяку кількість олігосахаридів з низькою молекулярною масою, які залишаються в розчині і стримують формування драглів [6; 7].

В результаті при концентрації вище 20 % утворюються м'які термореверсивні драгли, які при підвищеній температурі плавляться, а при низьких температурах знову застигають. За низьких і середніх температур (навіть за кімнатної) драгли імітують зовнішній вигляд, смак і текстуру властиву жирам та багатьом жирним харчовим продуктам.

Вперше технологія мальтину була розроблена у Німеччині, як нового і досить перспективного для харчової промисловості драглеутворювального мальтодекстрину. В основі технології мальтину також лежить ферментативний гідроліз крохмалю, переважно картопляного. У водну суспензію крохмалю з масовою часткою сухих речовин 25...30 % з рН 6,5 дозують бактеріальну  $\alpha$ -амілазу (амілосубтилін Г10х) з розрахунку 0,1 одиниця активності ферменту на грам сухих речовин крохмалю (од. ак./г СР). Далі суміш підігривають за наступним температурним режимом: підігрів до 59 °С і пауза 15 хв; підігрів до 63,5 °С – пауза 5 хв; підігрів до 65 °С – пауза 5 хв; підігрів до 68 °С – пауза 5 хв; підігрів до 90 °С зі швидкістю 1,5 °С за хвилину.

З приведеного температурного режиму видно, що спочатку суспензія прогрівається до температури, при якій набухають крохмальні гранули (до 70 °С). Далі крохмаль гідролізується протягом короткого часу. Спочатку гідролізується крохмаль, що знаходиться у розчині. Він розщеплюється ферментом значно швидше і повніше. Інша частина крохмальних полісахаридів знаходиться у вигляді твердої фази, тобто поряд з гомогенним має місце гетерогенний гідроліз.

В результаті наявності двох різних форм фізичного стану субстрату ферментативне розщеплення приводить до одержання продуктів гідролізу з певним розподіленням молекул за розміром: моносахариду глюкози – менше 0,3 %; олігосахаридів зі ступенем полімеризації до 6 – менше 1,5 %; олігосахаридів з молекулярною масою  $9,2 \cdot 10^3$  – 10...14 %; декстринів середньої молекулярної маси

12...30·10<sup>3</sup> – приблизно 31...32 %; з молекулярною масою 60...80·10<sup>3</sup> – 10...16 %, високомолекулярної фракції зі ступенем полімеризації 200÷600·10<sup>3</sup> – 34...36 % [3; 5].

Основною відмінною властивістю мальтину у порівнянні з мальтодекстринами і крохмалем є те, що перший утворює з водою драгли з нейтральним смаком, які стійкі до заморожування і відтавання. Консистенція драглів мальтину змінюється від пастоподібної (за концентрації 20...35 %) до міцної на розріз (за концентрації 35...50 %). При нагріванні драглів або розчинів мальтину до 70...80 °С отримують майже прозорі розчини, які при наступному охолодженні знову дають міцний гель. Цю операцію можна проводити багаторазово [2; 3; 7].

Пізніше була розроблена технологія виробництва мальтинів з низьким глюкозним еквівалентом. Авторами запропоновано оброблення суспензії не тільки картопляного, але і кукурудзяного крохмалю бактеріальною  $\alpha$ -амілазою в одну стадію при нагріванні зі швидкістю 1,5 °С за хвилину до 85 °С з однією 15-хвилинною температурною паузою при 58...60 °С. Замість кип'ятіння продукту протягом 15 хв після закінчення гідролізу його піддають термообробленню при 110...115 °С протягом 1...3 хв з метою інактивації ферменту. Автори технології запевняють, що чим нижче ступінь розщеплення крохмалю, тим вище драглеутворювальна здатність, в'язкість продукту, здатність запобігати кристалізації цукрів, але нижчі солодкість та гігроскопічність [3].

Аналіз розглянутих технологій показує, що всі вони мають один основний недолік, який ускладнює їх використання у промисловості – це складність дотримання у промислових умовах температурного режиму зі ступінчастим витриманням температурних пауз в процесі розріджування крохмалю [1; 3–5]. Навіть незначні зміни технологічного режиму призводять до одержання продуктів, що не мають термореверсивних властивостей [2; 3; 5; 7].

**Метою роботи.** Удосконалення технології мальтину з низьким ступенем розщеплення шляхом інтенсифікації процесу ферментативної декстринізації картопляного крохмалю.

**Матеріали та методи.** Для досліджень процесу декстринізації використовували картопляний крохмаль виробництва ПБП «Вимал» (м. Чернігів) вироблений згідно ДСТУ 4286:2004; гідролітичний ферментний препарат термостабільної  $\alpha$ -амілази Spezyme Fred (фірми “Genencor”), процес гідролізу здійснювали в лабораторних умовах за допомогою термостату. Оброблення гідролікатів у електромагнітному полі надвисокої частоти проводили за допомогою НВЧ-печі фірми Panasonic максимальної потужності 800 Вт. Загальний вміст редукувальних речовин (РР) у % до маси та глюкозний еквівалент (ГЕ) визначали за методом Вільштеттера та Шудля; рН і вміст сухих речовин (СР, % до маси продукту) визначали загальноприйнятими стандартними методами.

**Результати дослідження.** З метою встановлення впливу мікрохвильового випромінювання на процес ферментативної декстринізації крохмалю було проведено дослідження з вивчення і порівняння процесу ферментативної конверсії крохмалю в умовах термостату та поля НВЧ. З метою порівняння провели розріджування суспензії картопляного крохмалю (100 мл) з масовою часткою сухих речовин 30 % з використанням  $\alpha$ -амілази (Spezyme Fred дозованої у кількості 4 од. ак./г СР крохмалю) за рН оптимального для дії ферменту (рН = 4,5...5,0) у термостаті і у полі НВЧ, процес зупиняли після повного розріджування крохмальної суспензії, яке характеризували зменшенням в'язкості і досягненням значення ГЕ 20 %. У полі НВЧ потужністю 600 Вт ферментативне розріджування крохмалю відбулося за 2 хвилини: протягом 1 хв пройшла повна клейстеризація

крохмальних зерен, а ще за 1 хв – клейстер повністю розрідився. Процес ферментативного розріджування у термостаті проводили протягом 5 хв: 2 хв витратили на клейстеризацію суспензії, а 3 хв на повне розріджування крохмального клейстеру. У процесі були відібрані проби, у яких визначили величину глюкозного еквіваленту, за одержаними даними побудовано криві розріджування у термостаті і у полі НВЧ (рис. 1).

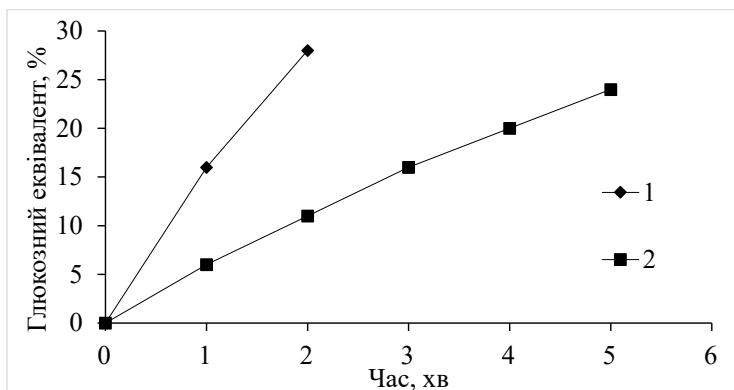


Рис. 1. Порівняння ферментативного розріджування крохмалю у полі НВЧ (1) і у термостаті (2)

З графіку видно, що процес ферментативного розріджування крохмалю із застосуванням поля НВЧ здійснюється інтенсивніше, ніж у термостаті. У гідролізаті, обробленому мікрохвильовим випромінюванням, значно менше завислих непрогідролізованих часток крохмалю, гідролізат прозорий і майже не схильний до ретроградації. Це пояснюється прискореним розріджуванням крохмалю у полі НВЧ, за якого вдається уникнути накопичення амілозоподібних декстринів з критичним розміром молекул, які найбільше здатні до ретроградації, відбувається швидкий розрив молекул полісахаридів до низькомолекулярних вуглеводів не схильних до ретроградації.

Особливості ферментативного розріджування крохмалю у полі НВЧ зумовлені діелектричним нагрівом. До переваг діелектричного нагріву дії поля НВЧ відносяться висока концентрація енергії в одиниці об'єму, що призводить до потужного об'ємного нагріву гідролізату, безінерційність вмикання і вимикання потоку енергії, коефіцієнт корисної дії перетворення електромагнітної енергії в теплоту наближений до 100 %. Крім того, діелектричний нагрів дозволяє створювати такий розподіл теплоти у об'єктах, які неможливі при звичайному нагріванні. Як показали експерименти, застосування енергії НВЧ дає можливість майже втричі прискорити процес ферментативного розріджування крохмалю у порівнянні із звичайним способом нагрівання.

З метою встановлення питомих витрати енергії НВЧ на декстринізацію крохмалю було проведено наступну серію експериментів. Використовуючи крохмальну суспензію концентрацією 35 %, термостабільну  $\alpha$ -амілазу Spezyme Fred у кількості 4 од. ак./г СР, провели ферментативний гідроліз крохмалю у полі НВЧ потужністю 600 Вт чотирьох проб об'ємом 100, 200, 300 і 400 мл. Процес проводили до повного розріджування крохмалю, що тривало 20...180 сек.

Під час процесу відбирали проби гідролізатів, у яких визначали ГЕ. За отриманими даними побудували кінетичні криві розріджування крохмалю (рис. 2). З кривих видно, що зі збільшенням об'єму суспензії, збільшується тривалість розріджування, а відповідно знижується швидкість процесу.

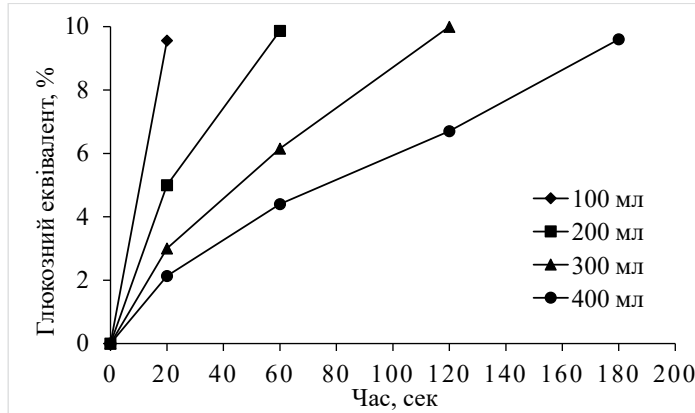


Рис. 2. Вплив об'єму крохмальної суспензії на тривалість розріджування у полі НВЧ

З метою встановлення залежності між тривалістю розріджування крохмалю і об'ємом суспензії було розраховано питомі витрати енергії надвисокої частоти на процес ферментативного розріджування крохмалю. Розрахунок проводили за формулою:

$$PE = \frac{N\tau}{V}, \quad (1)$$

де  $PE$  – питомі витрати енергії, Вт·с/см<sup>3</sup> (Дж/см<sup>3</sup>);  $N$  – потужність поля, Вт;  $\tau$  – тривалість розріджування, с;  $V$  – об'єм суспензії, см<sup>3</sup>.

Розрахувавши питомі витрати енергії для кожного дослідного розріджування, отримали дані, які наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Залежність між тривалістю розріджування у полі НВЧ і об'ємом суспензії крохмалю**

Об'єм суспензії, см <sup>3</sup>	Тривалість розріджування, с	Питомі витрати енергії, Дж/см <sup>3</sup>
100	40	240
200	100	300
300	120	240
400	180	270

Отже, на основі отриманих результатів встановлено, що питомі витрати енергії надвисокої частоти на процес гідролізу крохмалю складають 240...300 Дж/см<sup>3</sup> суспензії (за концентрації крохмальної суспензії 35 %).

З метою визначення оптимальної витрати  $\alpha$ -амілази на процес декстринізації суспензії картопляного крохмалю у полі НВЧ і порівняння її з дозуванням

$\alpha$ -амілази на даний процес у термостаті, було проведено серію експериментів з однаковою кількістю крохмальної суспензії (100 мл), що містить однакову масову частку крохмалю (концентрація 35 % СР), та з різною кількістю (від 1 до 5 од. ак./г СР) термостабільного ферменту. Розріджування проводили паралельно в усіх пробах за однакових умов протягом 2 хв у полі НВЧ (при питомих витратах енергії 240 Дж/см<sup>3</sup>), а по закінченню визначили в них величину ГЕ.

Використовуючи експериментальні дані було побудовано графік залежності ГЕ від витрати ферменту  $\alpha$ -амілази на розріджування картопляного крохмалю (тобто на досягнення ГЕ 20 %) (рис. 3), з якого видно, що оптимальним є дозування ферменту для процесу у полі НВЧ в кількості 2 од. ак./г СР крохмалю, що майже вдвічі менше, ніж для розріджування у термостаті. Подальше збільшення кількості доданого ферменту не сприяє підвищенню ГЕ гідролізатів, а призводить лише до збільшення матеріальних витрат на процес.

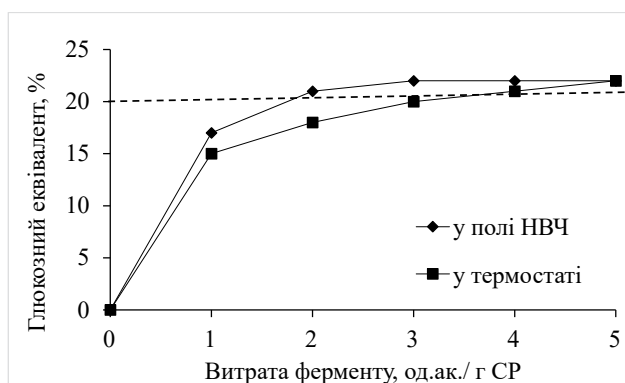


Рис. 3. Залежність ГЕ від дозування термостабільної  $\alpha$ -амілази на розріджування крохмалю у полі НВЧ та в термостаті

В результаті проведених експериментів можна зробити висновок, що застосування поля НВЧ для процесу ферментативної конверсії крохмалю є досить ефективним та перспективним способом інтенсифікації процесу. Спосіб дає можливість досягти повної клейстеризації крохмальних зерен, що не відбувається при використанні інших високотемпературних способів оброблення, оскільки дрібні крохмальні зерна залишаються неклеїстеризованими навіть за температур 120...140 °С. У полі НВЧ процес гідролізу крохмалю прискорюється, порівняно з класичним способом, у 2,5 рази, а дозування ферменту  $\alpha$ -амілази на розріджування зменшується вдвічі.

На основі проведених досліджень було розроблено спосіб виробництва мальтинів шляхом ферментативної декстринізації крохмалю у електромагнітному полі НВЧ, яке сприяє інтенсифікації процесу та одержанню високоякісного мальтину за рахунок повної миттєвої клейстеризації та розріджування крохмалю.

Було проведено серію досліджень ферментативного гідролізу картопляного крохмалю у полі НВЧ з метою одержання мальтинів і встановлено оптимальні умови процесу. Мальтини з найкращими якісними показниками одержували таким чином: готували по 200 см<sup>3</sup> суспензії картопляного крохмалю з вмістом сухих речовин 30...35 %, додаванням соляної кислоти встановлювали оптимальне рН суспензії 5,5...5,7 для дії термостабільної  $\alpha$ -амілази Spezyme FRED.



Препарат дозували з розрахунку 0,3...0,5 од. ак./г СР крохмалю. Суміш ретельно перемішували. Гідроліз проводили при застосуванні енергії НВЧ у кількості 240...300 Дж/см<sup>3</sup>, тобто 200 см<sup>3</sup> суспензії обробляли у мікрохвильовій печі потужністю 600 Вт впродовж 1,0...1,5 хв. Для припинення подальшого гідролізу фермент інактивували додаванням у отриманий гідролізат розчину соляної кислоти до рН 3,5 та витримували впродовж 20 хв, потім суміш нейтралізували розчином карбонату натрію (кальцинованої соди) до рН 6, центрифугували, очищали за допомогою активного вугілля та висушували у розпилювальній сушарці. Вихід мальтину з низьким ступенем розщеплення (ГЕ 10 %) становив 80 г.

При вмісті сухих речовин у крохмальній суспензії менше 30 % збільшуються енерговитрати на випарювання розчину мальтину. У разі використання для гідролізу крохмальної суспензії, що містить понад 40 % сухих речовин, розріджування у полі НВЧ відбувається нерівномірно в результаті підвищення в'язкості суспензії, гідролізат стає не технологічним, тобто не придатним для подальшого перероблення. Проте, слід відмітити, що застосування енергії НВЧ для розріджування крохмалю дає можливість використовувати суспензію більш концентровану, ніж при класичному нагріванні. Дозування ферменту понад 0,5 од. ак./г СР крохмалю призводить до більш глибокого ступеню конверсії крохмалю, а отриманий продукт має низьку в'язкість та втрачає здатність стабілізувати структури та антикристалізаційні властивості. При меншому дозуванні ферменту розріджування суспензії не відбувається, продукт має дуже високу в'язкість та стає нетехнологічним. Для гідролізу крохмалю використовували саме термостабільну  $\alpha$ -амілазу, яка витримує температуру 100...110 °С, щоб забезпечити можливість проведення процесу за температури кипіння суспензії 95...98 °С у полі НВЧ без суттєвої інактивації ферменту протягом декількох хвилин.

Запропонована технологія мальтину з низьким ступенем розщеплення дозволяє забезпечити очікуваний технологічний результат – інтенсифікацію процесу шляхом застосування енергії НВЧ та високу якість мальтину за рахунок миттєвої клейстеризації і розріджування крохмалю ферментами у полі НВЧ. Отримані мальтини здатні при нагріванні плавитися та відновлюватись при охолодженні, затримувати кристалізацію цукрів, що дає змогу застосовувати їх в якості наповнювачів та формуючих агентів у виробництві майонезу, морозива, десертів, безалкогольних напоїв та ін.

Структурну будову одержаного мальтину досліджували за допомогою Раман-спектроскопії (рис. 4). Спектри комбінаційного розсіювання дозволяють вивчати конформаційні зміни полісахаридів у розчинах та у драгках, явища гідратації та асоціації молекул.

Структурна організація молекул регулярних полісахаридів в основному визначається трьома параметрами – кутами обертання навколо глюкозидних зв'язків  $C_1-O(\varphi)$  і  $O-C_4'(\psi)$  та величиною валентного кута ( $\alpha$ ) у глюкозидному зв'язку сусідніх піранозних циклів. Внаслідок того, що взаємодія сусідніх піранозних циклів достатньо велика, величина валентного кута ( $\alpha$ ) у глюкозидному зв'язку може варіюватись в інтервалі від 110 до 122 ° і при цьому має місце зміна форми потенційної функції полімерної молекули, яка визначає амплітуду обертальних коливань. Витягнута вздовж одного із напрямків потенційна функція означає можливість обертальних коливань великої амплітуди, причому асиметричних, які можуть дестабілізувати структурну організацію регулярного ланцюга полісахариду. Кути обертання навколо глюкозидних зв'язків  $C_1-O(\varphi)$  і  $O-C_4'(\psi)$  повністю описують конформаційні стани даних піранозних циклів полісахариду.

Найбільші зміни мають місце для валентних коливань гідроксильних груп, валентних коливань  $\text{C-H}$ - і  $\text{C-H}_2$ - груп та маятникових коливань  $\text{C-H}_2$ - груп ( $730 \text{ cm}^{-1}$ ). Усі вказані зміни спектру свідчать про те, що в результаті гідролізу при зменшенні довжини полісахаридного ланцюга, вірогідно, змінюється величина валентного кута ( $\alpha$ ) в глюкозидному зв'язку і, як наслідок, змінюється форма потенційної функції полімерної молекули, яка визначає амплітуду обертальних коливань.

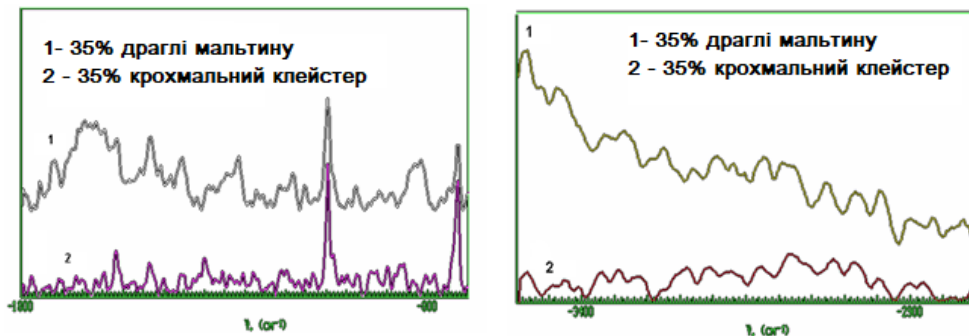


Рис. 4. Раман-спектри мальтину (1) та клейстеризованого нативного крохмалю (2) (вміст СР 35 %)

В результаті цього маємо витягнуту вздовж одного із напрямків потенціальну функцію, що означає можливість обертальних коливань великої амплітуди, асиметричних, які можуть дестабілізувати структурну організацію регулярного ланцюга полісахариду. Таким чином, можливо пояснити значні зміни інтенсивності, форми та положення смуг валентних коливань гідроксильних груп, що утворюють водневі зв'язки різної міцності, маятникових коливань груп  $\text{C-H}_2$ - ( $730 \text{ cm}^{-1}$ ) і валентних коливань  $\text{C-H}$ - і  $\text{C-H}_2$ - груп. Даний механізм пояснює причину зміни форми полісахаридного ланцюга мальтину. Наслідком вказаних змін є відмінності у ступені гідратації крохмалю і мальтину, на що і вказують всі зміни спектру. В свою чергу цим можна пояснити значні відмінності у здатності до структуроутворення даних полісахаридів.

Мальтини відрізняються від традиційного крохмалю ступенем гідрофільності, підвищеною здатністю до клейстеризації, гелеутворення, умовами розчинення, тому у ролі стабілізаторів дають високий технологічний ефект. Мальтини містять у своєму складі короткі амілозоподібні молекули з лінійним ланцюгом. Ці молекули схильні асоціювати у водній емульсії, формуючи драглі. Проте вони занадто короткі, щоб формувати незворотні драглі, як крохмальні молекули великої молекулярної маси. Відомо, що суспензії нативного крохмалю після клейстеризації у концентрації 8...12 % утворюють стійкі драглі [2; 4]. Ця властивість притаманна також різним модифікованим видам крохмалю. Проте ці продукти не можна використовувати в якості носіїв консистенції, оскільки їхня структура руйнується в процесі приготування під дією високих температур, вони мають клейкі властивості та характерний крохмальний смак. Мальтини з низьким ГЕ (5...8 %) містять невелику кількість розгалужених олігосахаридів, що затримують формування драглі. Внаслідок такої будови, за умови концентрації мальтину у розчині понад 25 % утворюються пластичні термореверсивні драглі. Саме ці властивості зумовлюють використання мальтинів як заміників жиру.

**Висновки.** На основі проведених досліджень щодо інтенсифікації процесу ферментативної конверсії крохмалю з метою одержання мальтину з низьким ступенем розщеплення встановлено, що у полі НВЧ процес в 2,5 рази прискорюється, порівняно з класичним способом, а дозування ферменту  $\alpha$ -амілази зменшується вдвічі. В результаті роботи розроблено технологію мальтинів, засновану на біоконверсії крохмалю у полі НВЧ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Quintero J.A. Analysis and characterization of starchy and cellulosic materials after enzymatic modification / J.A. Quintero, J.A. Dávila, J. Moncada, O.H. Giraldo, C.A. Cardona. *DYNA*. 2016. № 83(197). PP. 44–51. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.42729>.
2. Li Z. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch / Z. Li, W. Liu, Z. Gu, C. Li, Y. Hong. *Food Hydrocolloids*. 2015. № 48. PP. 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.030>
3. Bangar S.P. Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. / S.P. Bangar, A.O. Ashogbon, A. Singh, V. Chaudhary, W.S. Whiteside. *Carbohydrate Polymers*. 2022. № 287. 119265. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>
4. Ahmad I. Microstructural study of enzymatically and non-enzymatically hydrolyzed potato powder. / I. Ahmad, Z. Xiong, X. Hanguo, F. Lyu, R.M. Aadil, N. Khalid, N. Walayat, M.I. Taj, G. Zhang, W. Tang, Y. Li, M. Li. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022. № 46 (11). e16998. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16998>
5. Mohamed A. Physicochemical Properties of Enzymatically Modified Starches / A. Mohamed, H. Alqah, M. Alamri, S. Hussain, A. Qasem, M. Ibraheem, H. Yehia, G. Shamlan. *Processes*. 2021. № 9(12). 2251. <https://doi.org/10.3390/pr9122251>
6. Mondal S. Microbial Amylase: Old but still at the forefront of all major industrial enzymes / S. Mondal, K. Mondal, S.K. Halder, N. Thakur, K.C. Mondal. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022. № 45. 102509. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2022.102509>
7. Alqah H. Effect of annealing and  $\alpha$ -amylase extract on the rheological properties, syneresis, and water holding capacity of different starches. / H. Alqah, M.S. Alamri, A.A. Mohamed, S. Hussain, A.A. Qasem, M.A. Ibraheem, H.M. Yehia. *Food Science and Technology*. 2022. № 42. <https://doi.org/10.1590/fst.83821>
8. Zhong Y. Generation of short-chained granular corn starch by maltogenic  $\alpha$ -amylase and transglucosidase treatment / Y. Zhong, T. Keeratiburana, J.J.K. Kirkensgaard, B. Khakimov, A. Blennow, A.R. Hansen. *Carbohydrate Polymers*. 2021. № 251. 117056. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117056>

### REFERENCES:

1. Quintero J.A., Dávila J.A., Moncada J., Giraldo O.H., & Cardona C.A. (2016). Analysis and characterization of starchy and cellulosic materials after enzymatic modification. *DYNA*. 83 (197), 44–51.
2. Li Z., Liu W., Gu Z., Li C., & Hong Y. (2015). The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food hydrocolloids*. 48, 189–196.
3. Bangar S.P., Ashogbon A.O., Singh A., Chaudhary V., & Whiteside W.S. (2022). Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. *Carbohydrate polymers*. 287. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>.
4. Ahmad I., Xiong Z., Hanguo X., Lyu F., Aadil R.M., Khalid N. & et al. (2022). Microstructural study of enzymatically and non-enzymatically hydrolyzed potato powder. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46 (11). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jfpp.16998>.
5. Mohamed A., Alqah H., Alamri M., Hussain S., Qasem A., Ibraheem M. & et al. (2021). Physicochemical properties of enzymatically modified starches. *Processes*. 9(12). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/pr9122251>.

6. Mondal S., Mondal K., Halder S.K., Thakur N., & Mondal K.C. (2022). Microbial Amylase: Old but still at the forefront of all major industrial enzymes. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*. 45. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102509>.
  7. Alqah H., Alamri M.S., Mohamed A.A., Hussain S., Qasem A.A, Ibraheem M.A. & et al. (2022). Effect of annealing and  $\alpha$ -amylase extract on the rheological properties, syneresis, and water holding capacity of different starches. *Food science and technology*. 42. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/fst.83821>
  8. Zhong Y., Keeratiburana T., Kirkensgaard J.J.K., Khakimov B., Blennow A., & Hansen A.R. (2021). Generation of short-chained granular corn starch by maltogenic  $\alpha$ -amylase and transglucosidase treatment. *Carbohydrate polymers*. 251. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117056>.
-

УДК 577:[663.916:006.83]:355.65  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.20>

## ВИЗНАЧЕННЯ НУТРИЄНТНИХ, МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ТА СЕНСОРНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНИХ БАТОНЧИКІВ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ

**Дзюба Н. А.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6609-3965  
Scopus Author ID: 57193135605  
Researcher ID: P-1158-2016

**Дубина А. А.** – аспірантка  
кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-5150-6341  
Researcher ID: Д-4802-2019

**Нотевський Є. В.** – президент ГО «МООЛМС «МОЛОДЬ – МАЙБУТНЄ НАЦІЇ»,  
депутат Первомайської міської ради VIII-го скликання  
ORCID ID: 0009-0007-7000-5092

**Дзюба Ю. О.** – студент I курсу  
кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0009-0005-6221-8448

Забезпечення харчування військовослужбовців є передовою задачею кожної держави, особливо під час війни. Раціон харчування має бути збалансованим і містити всі необхідні поживні речовини для підтримання нервової системи та цілому організму, для збільшення витривалості під час навчань, а найголовніше під час безпосередньо воєнних операцій, а також прискорювати відновлення після поранень.

У статті наведено рецептури і технології отримання білково-вуглеводних батончиків з підвищеним вмістом білків (>20%) та вуглеводів. Такі батончики можна позиціонувати як профілактичні для людей з високими розумовими та фізичними навантаженнями, зокрема для харчування військовослужбовців. Для розробки рецептур використовували математичне моделювання, цільовими функціями при оптимізації складу батончиків були максимальний вміст білків та вуглеводів при мінімальному вмісті жиру.

Визначено хімічний склад розроблених батончиків. Дослідження адгезійної міцності харчових мас батончиків дало можливість визначити вид кулінарної обробки для досягнення кулінарної готовності, в результаті для двох рецептур застосовується операція запікання при температурі (180 ± 5) °C протягом (30–40) хв із подальшим охолодженням, а для третього – заморожування при температурі (–7...–4) °C. Результати дослідження динаміки зміни споживчих та мікробіологічних характеристик, вмісту вологи в розроблених батончиках у процесі зберігання дало можливість стверджувати, що при зберіганні у поліпропіленовій тарі при температурі (20–25) °C кінцевий термін придатності до споживання складає більше 14 днів. Додатково проведено аналіз ризиків виникнення небезпечних факторів на етапах виробництва та розроблено схему технологічного процесу виробництва із застосуванням принципів НАССР.

Розроблені рецептури білково-вуглеводних батончиків були впроваджені у виробництво громадської організації «МООЛМС «МОЛОДЬ – МАЙБУТНЄ НАЦІЇ» (м. Миколаїв).

**Ключові слова:** білково-вуглеводні батончики, військовослужбовці, здорове харчування, оптимізація.

**Dzyuba N. A., Dubyna A. A., Notevskiy E. V., Dzyuba Yu. O. Determination of nutrient, microbiological and sensory quality indicators of protein and carbohydrate bars for military**

*Providing food for military personnel is a priority task of every state, especially during wartime. The diet must be balanced and contain all the necessary nutrients to support the nervous system and the whole body, to increase endurance during training, and most importantly during direct military operations, as well as to speed up recovery after injuries.*

*The article presents recipes and technologies for obtaining protein-carbohydrate bars with an increased content of proteins (>20 %) and carbohydrates. Such bars can be positioned as preventive for people with high mental and physical stress, in particular for the nutrition of military personnel. Mathematical modeling was used to develop the recipes, the target functions for optimizing the composition of the bars were the maximum content of proteins and carbohydrates with the minimum content of fat.*

*The chemical composition of the developed bars was determined. The study of the adhesive strength of the food masses of bars made it possible to determine the type of culinary processing to achieve culinary readiness, as a result, for two recipes, a baking operation is used at a temperature of  $(180 \pm 5)$  °C for (30–40) minutes with subsequent cooling, and for the third – freezing at a temperature of  $(-7 \dots -4)$  °C. The results of the study of the dynamics of changes in consumer and microbiological characteristics, moisture content in the developed bars during storage made it possible to state that when stored in a polypropylene container at a temperature of  $(20-25)$  °C, the final shelf life is more than 14 days. In addition, an analysis of the risks of dangerous factors at the production stages was carried out and a scheme of the technological process of production using HACCP principles was developed.*

*The developed recipes of protein-carbohydrate bars were put into production by the public organization “MOOLMS “YOUTH – FUTURE NATIONS” (Mykolaiv).*

**Key words:** protein-carbohydrate bars, military, healthy nutrition, optimization.

**Вступ.** Спорт і харчування у житті сучасної людини відіграє важливу роль. Заохочення до спортивної активності в основному відбувається за допомогою реклами у соціальних мережах, білбордах або за порадою знайомого. Спостерігається тенденція відвідування спортивних залів, що і стало передумовою зростання кількості спортивних тренерів та консультантів зі спортивного харчування. А загальний попит на спорт та спортивні продукти став поштовхом до розвитку ринку спортивного харчування в Україні.

Проведене в Україні на IV спеціалізованому форумі “Parapharmaceuticals and Cosmetics in Ukraine” Асоціацією представників міжнародних фармацевтичних виробників (AIPM Ukraine) опитування показало, що серед продуктів спортивного харчування за частотою вживання протеїнові батончики займають друге місце [1].

Частка протеїну у високобілкових батончиках складає від 20 % до 50 % [2]. Такі батончики широко використовуються для відновлення в організмі життєво-необхідних поживних речовин після фізичного виснаження (63 %), підтримання здоров'я (59 %) та збільшення енергії (50 %) спортсменами, військовими тощо [2; 3]. Окрім фізичних навантажень особливо військові (спецконтингент) підлягають значному стресу та нервовому напруженню. Перекуси для спецконтингенту повинні додатково забезпечувати витривалість і критичне мислення у стресових ситуаціях.

Актуальність даного дослідження впливає із необхідності забезпечити військових України всіма необхідними поживними речовинами, що будуть підтримувати нервову систему та в цілому організм, збільшувати витривалість під час навчань, а найголовніше під час безпосередньо воєнних операцій, та прискорювати відновлення після травм. Перекуси у вигляді протеїнових батончиків є простими з точки зору вживання та зберігання, не потребують додаткових технологічних операцій перед вживанням, окрім розкриття упаковки, і швидко насичують організм всіма необхідними макро- та мікронутрієнтами.

**Постановка проблеми.** Тенденція вживання натуральних продуктів харчування в останні роки зростає [4]. Користь таких продуктів полягає у відсутності залишків добрив та пестицидів у їх складі, котрі є шкідливими для здоров'я людини та містяться зазвичай у звичайних продуктах харчування [4]. Ритм життя сучасної людини іноді не дає змоги їй спокійно поїсти, вже не кажучи про приготування їжі [4]. Люди шукають здорову їжу в готовому до вживання вигляді [4]. До одного з видів таких продуктів слід віднести спортивні батончики, реалізація яких здійснюється в звичайних супермаркетах, спеціалізованих магазинах та спортивних залах [4]. Спортивні батончики бувають енергетичні; протеїнові; збалансовані; вуглеводні; для сніданку; такі, що стимулюють роботу мозку та ті, що здатні замінити один прийом їжі [4]. Склад батончиків є різним, в залежності від їх виду, але зазвичай використовують наступні продукти для їх виготовлення: фрукти (сухофрукти), горіхи (мигдаль, фундук, кешью, волоські тощо), насіння (соняшникове, гарбузове, насіння льону, кунжуту тощо), злакові культури, шоколадні чіпси або шоколадну глазур та різні джерела білка (боби мунг [5], ізолят сироваткового білка [4], концентрат сироваткового білка [6], колагенові гідролізати, сухий яечний білок та інші).

Наприклад, для виробництва батончика використовували як джерело білка борошно з бобів мунг (також відомі як маш або квасоля азійська), а як джерело вуглеводів – модифіковане борошно солодкої картоплі (батат) [5]. Зразок батончика із співвідношенням модифіковане борошно батату:борошно бобів мунг = 55:45 дав найкращі результати за вмістом білків, вуглеводів та жирів, а саме: 13.96 %, 56.12 % та 14.93 % відповідно [5]. Батончик позиціонують як продукт для харчування людей у надзвичайних ситуаціях [5].

Як відомо, білки є будівельним матеріалом в організмі людини, забезпечують його функціонування на належному рівні. Вчені з Пакистану розробили 6 видів білкових енергетичних батончиків для впровадження у харчування літніх людей, спортсменів, військових та у фітнес клубах [4]. Джерелом білка у цих батончиках були ізолят сироваткового білка та сир Чеддер, а курага з фініками виступали джерелом вітамінів та інших макро- і мікронутрієнтів, забезпечуючи енергетичну складову [4].

Відомі рецептури протеїнових батончиків, в яких як джерело білка було використано концентрат сироваткового білка та пребіотик –інулін, а збагатили їх сухофруктами, злаками та горіхами [4]. У зразках батончиків містилось більше 10 г клітковини на 100 г продукту, білка 17,3–19,1 г на 100 г [4]. Горіхи сприяють зміцненню нервової системи, стимулюють роботу серця і мозку; допомагають в оновленні клітин; зміцненні кістково-суглобового апарату; зміцнюють зуби, покращують гормональний фон, сприяють покращенню пам'яті і концентрації уваги, знімають нервову напругу та стрес. Сухофрукти насичують продукт корисними мікро- та макронутрієнтами, забезпечують енергетичну складову і впливають позитивно на нервову систему. Злакові культури є джерелом рослинного білка, вітамінів та інших макронутрієнтів.

Розширювати асортимент батончиків, зокрема білкових, на споживчому ринку України є перспективним і актуальним, тому було обрано розробляти рецептури продуктів саме цього напрямку.

**Метою роботи** є розробка рецептур протеїнових батончиків для впровадження у раціон харчування людей зі значними фізичними і розумовими навантаженнями.

**Виклад основного матеріалу.** Першим етапом роботи було проведення маркетингового дослідження. За результатами дослідження було визначено, що 31,5 %

респондентів надає перевагу спортивному харчуванню вуглеводно-протеїнового профілю, 28,8 % – протеїновому, 27,1 % – вуглеводному, 12,1 % – карнітиновому. 38,9 % респондентів віддають перевагу протеїну рослинного походження, 28,4 % – тваринного походження, 32,7 % – протеїну молочного білка. Найбільш привабливими формами спортивного харчування є сухий порошок (38 %) та у вигляді батончику (34 %); рідкій формі спортивного харчування у вигляді напою або гелю віддали перевагу 15 % та 13 % респондентів відповідно. Однак, сухий порошок потребує відновлення перед вживанням, що унеможливило використання такого виду продукції у харчуванні спецконтингенту, спортивні батончики в цьому випадку є більш простими у використанні, адже треба лише відкрити упаковку.

Аналіз можливості виробництва протеїнового батончику (вміст білка 20–50 %) обумовило ряд питань, що стосуються його форми, сировинного складу, функціоналу та ін. 81,7 % респондентів зазначили, що хотіли б придбати новий білковий продукт у вигляді батончику. Розподіл за смаковими вподобаннями серед респондентів було проведено з найбільш розповсюджених смаків, що використовуються при виробництві спортивного харчування. За результатами опитування потенційних споживачів продукту, можна зробити висновок про те, що новий спортивний батончик буде мати попит, враховуючи його смакові та функціональні властивості.

Другим етапом роботи стала розробка рецептури спортивних батончиків. Враховуючи, що спортивний батончик повинен містити білки (від 20 % до 50 %) та вуглеводи при максимально низькому значенні жиру було підібрано сировину, яка має в своєму складі підвищений вміст зазначених макронутрієнтів. Основними компонентами для виробництва спортивного батончика обрано 3 набори сировини: 1) насіння кунжуту, сир кисломолочний, вівсяні пластівці, мед, мигдаль, фундук, гідролізат колагену; 2) горіхи волоські, родзинки, курага, чорнослив, вівсяні пластівці, банан, ізолят сироваткового білка, кориця; 3) вершкове масло, ксиліт, сухий цільний яєчний білок, горіхи волоські, шоколадні чіпси, сіль, ванільний цукор. Рецептури спортивних батончиків з підвищеним вмістом білків та вуглеводів отримали за допомогою математичного моделювання. Метою математичного моделювання є отримання продукту в підвищеному вмістом білків та вуглеводів.

В таблиці 1 наведена матриця характеристики рецептурних інгредієнтів (PI) для проєктування рецептур батончиків. Діапазон варіювання вмісту рецептурних інгредієнтів вибрали виходячи з добової потреби. У таблиці 2 представлено вміст нутрієнтів у вибраних PI.

Таблиця 1

### Інформаційна матриця даних для математичного моделювання

Рецептурний інгредієнт	Індекс, $X_i$	Діапазон варіювання PI, г/порцію
1	2	3
Білковий батончик «Відновлення» (Батончик 1)		
Насіння кунжуту	$X_1$	3...7
Сир кисломолочний	$X_2$	20...45
Вівсяні пластівці	$X_3$	25...50
Мед	$X_4$	8...20
Мигдаль	$X_5$	8...12
Фундук	$X_6$	8...12
Колагеновий препарат	$X_7$	4...8



Закінчення таблиці 1

1	2	3
<b>Білково-вуглеводний батончик (Батончик 2)</b>		
Горіхи волоські	$X_8$	10...20
Родзинки	$X_9$	6...9
Курага	$X_{10}$	6...9
Чорнослив	$X_{11}$	6...9
Вівсяні пластівці	$X_{12}$	15...30
Банан	$X_{13}$	15...30
Ізолят сироваткового білка	$X_{14}$	25...50
Кориця	$X_{15}$	0,3...0,7
<b>Білково-шоколадний батончик (Батончик 3)</b>		
Вершкове масло	$X_{16}$	12...25
Ксиліт	$X_{17}$	0,8...2,1
Сухий цільний яєчний білок	$X_{18}$	35...60
Горіхи волоські	$X_{19}$	20...30
Шоколадні чіпси	$X_{20}$	20...30
Сіль	$X_{21}$	1
Екстракт ванілі	$X_{22}$	5

Таблиця 2

**Вміст макронутрієнтів РІ (г/100 г)**

Рецептурний інгредієнт	Білки	Жири	Вуглеводи	Всього	Калорійність, ккал
1	2	3	4	5	6
<b>Батончик 1</b>					
Насіння кунжуту	19,4	48,7	12,2	80,3	565
Сир кисломолочний	16,7	9	2	27,7	155,3
Вівсяні пластівці	11	6,2	51	68,2	305
Мед	0,8	0	82,4	83,2	304
Мигдаль	18,6	53,7	13	85,3	609
Фундук	15	61,5	9,4	85,9	651
Колагеновий препарат	70	0	0	70	294
<b>Батончик 2</b>					
Горіхи волоські	16,2	60,8	11,1	88,1	656
Родзинки	3,3	0,3	74,8	78,4	299
Курага	5,2	0,3	51	56,5	232
Чорнослив	2,3	0,7	57,5	60,5	256
Вівсяні пластівці	11	6,2	51	68,2	305
Банан	1,5	0,5	21	23	96
Ізолят сироваткового білка	90	1	3	94	381
Кориця	4	1,2	27,5	32,7	247

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5	6
Батончик 3					
Вершкове масло	0,8	72,5	1,3	74,6	661
Ксиліт	0	0	97,9	97,9	367
Сухий цільний яєчний білок	82,4	1,8	1,2	85,4	350
Горіхи волоські	16,2	60,8	11,1	88,1	656
Шоколадні чіпси молочні	7,6	31,3	51,5	90,4	532
Сіль	0	0	0	0	0
Цукор ванільний	0	0	99,5	99,5	398

Цільові функції для математичного моделювання батончиків мають вигляд:

$$\text{Батончик 1: } F(x) = \frac{80.3 \cdot x_1 + 27.7 \cdot x_2 + 68.2 \cdot x_3 + 83.2 \cdot x_4 + 85.3 \cdot x_5 + 85.9 \cdot x_6 + 70 \cdot x_7}{100} \rightarrow \max$$

Батончик 2:

$$F(x) = \frac{88.1 \cdot x_8 + 78.4 \cdot x_9 + 56.5 \cdot x_{10} + 60.5 \cdot x_{11} + 68.2 \cdot x_{12} + 23 \cdot x_{13} + 94 \cdot x_{14} + 32.7 \cdot x_{15}}{100} \rightarrow \max$$

$$\text{Батончик 3: } F(x) = \frac{74.6 \cdot x_{16} + 97.9 \cdot x_{17} + 85.4 \cdot x_{18} + 88.1 \cdot x_{19} + 90.4 \cdot x_{20} + 0 \cdot x_{21} + 99.5 \cdot x_{22}}{100} \rightarrow \max$$

На підставі інформаційної матриці (табл. 1) та вмісту макронутрієнтів (табл. 2) склали системи лінійних балансових рівнянь за змістом в композиції батончиків білків, жирів та вуглеводів, відповідно з фізіологічною потребою людини. В результаті розрахунку програми отримали частки рецептурних інгредієнтів.

*Батончик 1.*  $x_1 = 3$ ;  $x_2 = 40$ ;  $x_3 = 20$ ;  $x_4 = 8$ ;  $x_5 = 5$ ;  $x_6 = 9$ ;  $x_7 = 15$

*Батончик 2.*  $x_8 = 10,7$ ;  $x_9 = 6$ ;  $x_{10} = 6$ ;  $x_{11} = 6$ ;  $x_{12} = 15$ ;  $x_{13} = 15$ ;  $x_{14} = 41$ ;  $x_{15} = 0,3$

*Батончик 3.*  $x_{16} = 12$ ;  $x_{17} = 2,1$ ;  $x_{18} = 35$ ;  $x_{19} = 20$ ;  $x_{20} = 24,9$ ;  $x_{21} = 1$ ;  $x_{22} = 5$

При цьому цільові функції набули вид:

*Батончик 1.*  $F(x) = 56,281$

*Батончик 2.*  $F(x) = 73,47$

*Батончик 3.*  $F(x) = 86,00$

Таким чином, отримано 3 рецептури для виготовлення батончиків, що представлені нижче.

*Батончик 1:* насіння кунжуту – 3 г; сир кисломолочний – 40 г; вівсяні пластівці – 20 г; мед – 8 г; мигдаль – 5 г; фундук – 9 г; колагеновий препарат – 15 г.

*Батончик 2:* горіхи волоські – 10,7 г; родзинки – 6 г; курага – 6 г; чорнослив – 6 г; вівсяні пластівці – 15 г; банан – 15 г; ізолят сироваткового білка – 41 г; кориця – 0,3 г.

*Батончик 3:* вершкове масло – 12 г; ксиліт – 2,1 г; сухий цільний яєчний білок – 35 г; горіхи волоські – 20 г; шоколадні чіпси молочні – 24,9 г; сіль – 1 г; цукор ванільний – 5 г.

Вміст макронутрієнтів для розроблених рецептур наведено в таблиці 3.

На початковому етапі було продумано розробку 3 видів білкових батончиків, відповідно до цього і було підібрано відповідну сировину. Завдяки математичному проектуванню та вимог до харчування людей з фізичними навантаженнями було отримано 3 рецептури, з якими проводилась подальша робота.

Таблиця 3

## Макронутрієнтний склад батончиків (на 100 г)

Зразок	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Батончик 1	22,31	14,52	19,45
Батончик 2	41,17	8	24,3
Батончик 3	37,73	27,84	20,19

Наступним етапом роботи стало визначення адгезійних властивостей харчової маси. Дослідження проводили в діапазоні температур 20–40 °С з кроком 10 °С (рис. 1). Для дослідження брали металеву пластину, що пов'язано з тим що більшість посуду в закладах ресторанного господарства виробляється саме з харчового металу.

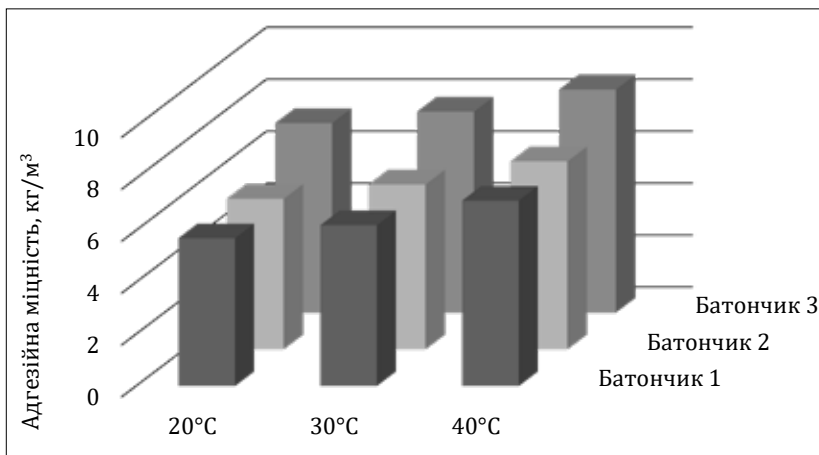


Рис. 1. Динаміка зміни адгезійної міцності маси в залежності від температури

Як видно з рис. 1 найбільшою адгезійною міцністю володіє маса для виготовлення батончику 3. Так, при температурі 20 °С адгезійна міцність маси дорівнює 5,7 кг/м<sup>3</sup>, 5,8 кг/м<sup>3</sup>, 6,3 кг/м<sup>3</sup> відповідно до маси 1, маси 2, маси 3. При збільшенні температури до 30 °С, адгезійна міцність збільшується для маси 1, маси 2, маси 3 в 1,08 рази, 1,09 рази, 1,06 рази. При порівнянні адгезійної міцності при температурі 20 °С та 40 °С адгезійна міцність збільшується в 1,25 рази, 1,25 рази, 1,18 рази.

Отримані дані показали, що при збільшенні температури харчової маси її адгезійна міцність зростає, але незначно в середньому в 1,1 рази. Таким чином можна рекомендувати як високотемпературну обробку так і низькотемпературну обробку харчових мас для виготовлення батончиків.

Враховуючи, що в харчовій масі 1 і 2 містяться вівсяні пластівці, то бажано, щоб саме ці маси проходили високотемпературну обробку, а саме запікання. В масі для виготовлення батончику 3 міститься вершкове масло та шоколадні чіпси, що обумовлює процес низькотемпературної обробки.

На останньому етапі дослідження було розроблено технологію білкових батончиків для військовослужбовців. Загальний технологічний процес виробництва батончиків здійснюється в наступній послідовності: первинна підготовка сировини; основний технологічний процес; упакування та зберігання.

*Технологія батончику 1.* Первинна підготовка сировини полягає в перебиранні горіхів (мигдалю та фундуку), за необхідності очищення від шкарлупи. Насіння кунжуту просіюємо для видалення механічних домішок. Вівсяні пластівці попередньо замочуємо у гарячій воді температурою (70–80) °С в продовж 10–15 хвилин, за цей час відбувається гідратаційний процес, набухання харчових волокон вівсяних пластівців, розм'якшення тканин, що дасть можливість збільшити когезійні властивості маси для отримання однорідної маси. Сир кисломолочний перетирають задля отримання однорідної гомогенної консистенції. Колагеновий препарат просіюють. Підготовлену сировину з'єднують в ємності та добре вимішують, отримуючи однорідну масу. Готову масу викладають на деко шаром товщиною 1,5–2 см. За бажанням можна товщину збільшити до 2,5–3 см, тоді готовий продукт буде мати тверду оболонку та м'яку середину. Випікання проводять у духовій шафі при температурі (180 ± 5) °С в продовж 30–40 хвилин. Охолоджену до температури (60–70) °С масу розрізають на порційні батончики. Охолоджені батончики упаковують у поліпропіленову упаковку.

Функціональна схема виробництва батончику 1 наведена на рис. 2.

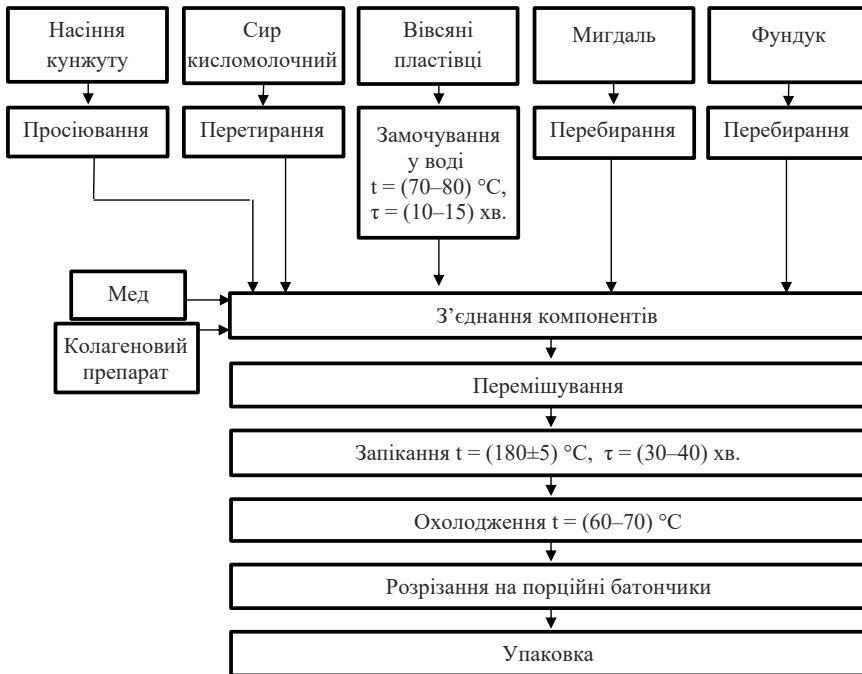


Рис. 2. Функціональна схема виробництва Батончику 1

*Технологія батончику 2.* Первинна підготовка сировини полягає в перебиранні родзинок, кураги, чорносливу та бананів. Пошкоджені плоди видаляються. Горіхи волоські перебирають, за необхідність видаляють шкарлупу. Родзинки, курагу та чорнослив промивають водою температурою (17 ± 2) °С та замочують у гарячій воді температурою (70–80) °С в продовж 10–15 хвилин. З набухлих плодів видаляють зайву вологу шляхом промокування паперової серветки

та нарізають на кусочки 0,5–0,7 см. Перебрані горіхи волоські подрібнюють на куски розміром 0,5–0,7 см. Банан звільняють від кожури та перетирають у пюре за допомогою блендера. Підготовлену сировину з'єднують, вводять в масу ізолят сироваткового білка, для надання пікантного смаку додають корицю. Суміш ретельно перемішують та поміщають на деко. Випікання проводять при температурі  $(180 \pm 5) ^\circ\text{C}$  в продуж 30–40 хвилин. Охолоджену до температури  $(60–70) ^\circ\text{C}$  масу розрізають на порційні батончики. Охолоджені батончики упаковують у поліпропіленову упаковку.

*Технологія батончика 3.* Первинна підготовка сировини підлягає в перебранні горіхів волоських, за необхідності видалення шкарлупи. Сухі компоненти (ксиліт, сухий цільний яєчний білок) просіюють. Вершкове масло та половину шоколадних чіпсів розтоплюють. В тарі з'єднують сухі компоненти (ксиліт, сухий яєчний білок, подрібнені волоські горіхи та шоколадні чіпси, сіль, цукор ванільний), ретельно перемішують і вводять суміш розтопленого масла вершкового та шоколадних чіпсів. Масу вимішують та з неї формують батончики. Готові батончики заморожують при температурі  $(-4 \dots -7) ^\circ\text{C}$ . Готові заморожені батончики упаковують у поліпропіленову тару та зберігають в охолоджену вигляді.

Дослідження нутрієнтного складу батончиків наведено в табл. 4. Отримані результати свідчать, що розроблені білкові батончики містять основні вітаміни та мікроелементи, що є дуже важливим з точки зору забезпечення потреб організму в енергії.

Таблиця 4

## Нутрієнтний склад батончиків (в 100 г)

Мікро- нутрієнти	Добова потреба, мг	Батончик 1		Батончик 2		Батончик 3	
		Батончик, мг	Задоволеність від добової потреби, %	Батончик, мг	Задоволеність від добової потреби, %	Батончик, мг	Задоволеність від добової потреби, %
$V_1$	1,5	0,135	9	0,137	9,133	0,187	12,467
$V_2$	1,8	0,186	10,3333	0,1	5,556	0,221	12,278
$V_3$	15	0,478	3,1866	0,404	2,693	0,225	1,500
E	15	2,727	18,18	0,559	3,727	2,739	18,260
A	0,8	0,0075	0,9375	0,741	92,625	0,244	30,500
C	80	0,567	0,7087	1,83	2,288	7,46	9,325
Кальцій (Ca)	3000	97,76	3,2586	34,818	1,161	235,85	7,862
Магній (Mg)	800	70,7	8,8375	50,65	6,331	98,387	12,298
Фосфор (P)	400	227,02	56,755	113,70	28,425	176,60	44,152
Калій (K)	2500	239,09	9,5636	322,06	12,883	464,44	18,578
Натрій (Na)	400	151,28	37,82	10,399	2,600	344,31	86,079
Залізо (Fe)	18	61,882	343,78	180,39	1002,18	2,454	13,633

Отримані результати (табл. 4) свідчать, що розроблені батончики є джерелом вітамінів групи B, особливо  $V_6$  та задовольняють добову потребу в вітаміні  $V_2$  у батончиках 1, 2 та 3 на 10,33 %, 5,556 % та 12,278 % відповідно. Задоволеність добової потреби у фосфорі становить 56,755 %, 28,425 % та 44,152 % відповідно

для батончиків 1, 2 та 3. Аналіз хімічного складу розроблених батончиків показав, що батончик 1 задовольняє потребу в залізі на 343,789 %, а батончик 2 – 1002,189 %, що зумовлено наявністю в них фундука та насіння кунжуту. Споживання батончику 3 масою 100 г дасть можливість задовольнити потребу у натрії на 86,079 % добової потреби, на 30,5 % – вітаміну А. В розроблених батончиках високий вміст вітамінів-антиоксидантів (А, Е, С), що дає можливість стверджувати про їх функціональні властивості направленої дії, а саме імуностимулюючу дію. Повний аналіз хімічного складу розроблених батончиків (табл. 3, 4), дає змогу позиціонувати їх як білкові кулінарні вироби з підвищеним вмістом вітамінів та мікроелементів, що необхідні при постійних фізичних та розумових навантаженнях.

Одним із основних показників якості кулінарної продукції є рівень вмісту патогенних та умовно патогенних мікроорганізмів. Для наукового обґрунтування умов та строків зберігання, батончики зберігали при температурі (20–25) °С в продовж 14 діб в поліпропіленовій тарі. Дослідження зміни кількості мікробіоти в процесі зберігання наведено табл. 5. Результати мікробіологічних досліджень свідчать, що кількісний та якісний склад мікробіоти відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, що свідчить про високу якість розроблених батончиків та можливість впровадження їх у закладах ресторанного господарства та для реалізації через роздрібну мережу.

Таблиця 5

**Динаміка змін мікробіологічних показників батончиків в процесі зберігання**

Найменування показників	Характеристика показників після закінчення технологічного циклу	Тривалість зберігання, діб			
		3	6	9	14
<b>Батончик 1</b>					
БГКП у 1 г	Не виявлено	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, в тому числі <i>Salmonella</i> у 100 г	Не виявлено	Не виявлено			
МАіФАМ у 1 г, не більше 10 <sup>3</sup>	0,4	0,4	0,5	0,55	0,55
Кількість пліснявих грибів у 1 г, не більше	1,5	1,5	1,5	1,52	1,53
<b>Батончик 2</b>					
БГКП у 1 г	Не виявлено	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, в тому числі <i>Salmonella</i> у 100 г	Не виявлено	Не виявлено			
МАіФАМ у 1 г, не більше 10 <sup>3</sup>	Не виявлено	Не виявлено			
Кількість пліснявих грибів у 1 г, не більше	Не виявлено	Не виявлено			
<b>Батончик 3</b>					
БГКП у 1 г	Не виявлено	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, в тому числі <i>Salmonella</i> у 100 г	Не виявлено	Не виявлено			
МАіФАМ у 1 г, не більше 10 <sup>3</sup>	Не виявлено	Не виявлено			
Кількість пліснявих грибів у 1 г, не більше	Не виявлено	Не виявлено			

Враховуючи, що розроблені батончики можуть вироблятися як в закладах ресторанного господарства, так і на підприємствах харчової промисловості було вивчено зміну сенсорних показників. На рис. 3 наведено сенсорні показники розроблених батончиків після зберігання в продовж 14 діб при температурі (20–25) °С в поліпропіленовій тарі. Аналіз даних на рис. 3 показали, що розроблені батончики мають високі органолептичні показники, які відмітило 45 дегустаторів. Результати дегустаційного аналізу на 14 добу зберігання показали, що батончики зберегли свої сенсорні показники, що зумовлено асептичними умовами упаковки в герметичну поліпропіленову тару.

Одним з важливих показників зберігання батончиків можна назвати здатність батончику набирати вологу. Тому, актуальним є наукове вивчення зберігання батончиків, а саме визначення вміст вологи батончиків під час зберігання при температурі (20–25) °С в неупакованому виді, вологість повітря 60–70 % (рис. 4). Отриманні данні (рис. 4) показали, що батончики 1 і 2, які пройшли термічну обробку, а саме запікання, мають менший вміст вологи ніж батончик 3. Але на 6 добу зберігання розподілення вологи в готових продуктах змінюється, а саме відбувається накопичення вологи в батончиках 1 і 2 значно інтенсивніше ніж в батончику 3. Так, вміст вологи в батончику 1 на 6 добу становив 15,23 %, а у батончика 2 – 15,93 %, при цьому вологість батончика 3 становить 15,3 %. На 14 добу зберігання вологість батончиків 1, 2 і 3 збільшується в 1,35 рази, 1,36 рази і 1,15 рази відповідно.

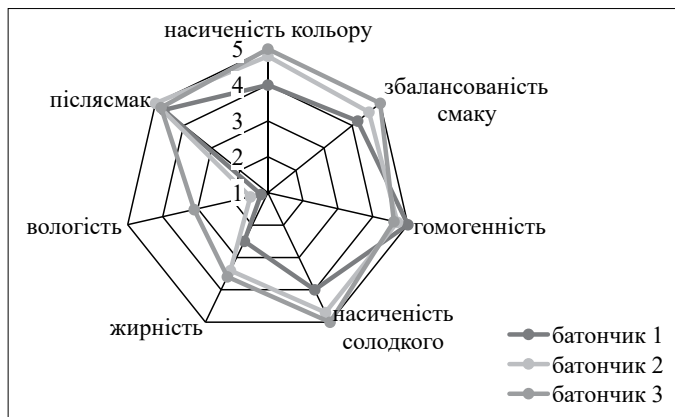


Рис. 3. Сенсорні показники розроблених батончиків

Накопичення вологи батончиками в нерегульованих умовах можна пояснити тим, що до їх складу входять вівсяні пластівці, що здатні зв'язувати вологу та утримувати її. Однак, при зберігання батончику 3 в нерегульованих умовах відбувається окислення вершкового масла, що призводить до прогірклого смаку та запаху. Тому, довготривале зберігання батончику 3 без герметичної упаковки повинно бути в холодних умовах при температурі (4±2) °С.

Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) спрямована на попередження виникнення ризиків (біологічних, фізичних та мікробіологічних) в процесі будь-якого виробництва. Блок-схема технологічного процесу розробляється групою НАССР, а верифікація проводиться безпосередньо на виробництві

не рідше 1 разу на рік. Блок-схема впровадження «Білкового батончика «Відновлення» наведена на рис. 5. Нижче наведено аналіз ризиків виникнення небезпечних факторів на етапах виробництва у закладах ресторанного господарства (табл. 6). Для оцінки ймовірності появи ризику та тяжкості наслідків було обрано шкалу балів від 1 до 5.

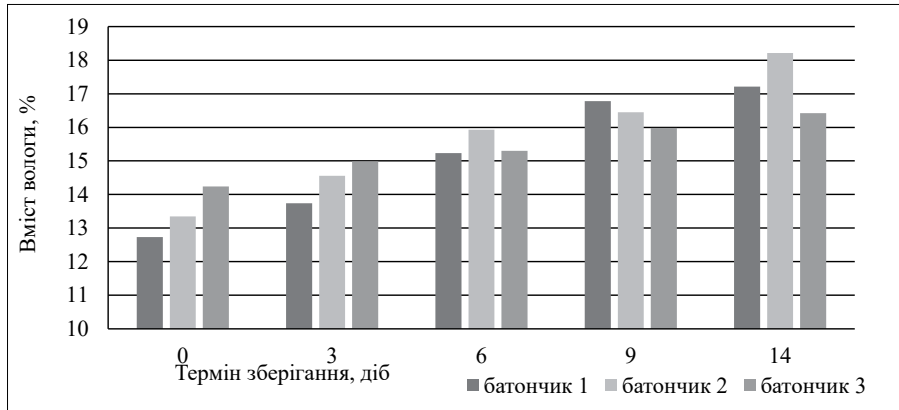


Рис. 4. Динаміка накопичення вологи батончиками у визначених умовах зберігання

Таблиця 6

**Аналіз ризиків виникнення небезпечних факторів на етапах виробництва**

Найменування операцій	Небезпечний фактор	Короткий опис	Ш	ТН	Контроль, заходи управління
1	2	3	4	5	6
Приймання та зберігання сировини для виробництва батончиків	Біологічний-наявність ПМ	У потенційно небезпечних видах сировини спостерігається швидке зростання патогенних мікроорганізмів, якщо Т перевищує норму. Отримання забрудненої сировини. Порушення санітарно-гігієнічних вимог та ТР.	2	4	ПП щодо специфікації і контролю постачальників ПП щодо зберігання та транспортування ПП щодо здоров'я та гігієни персоналу
	Хімічний 1	Ризики знижуються якщо продукція сертифікована, декларована, знаходиться в упаковці, дотримані умови транспортування.	1	1	
	Фізичний		2	3	
Зберігання охолоджених продуктів: сир кисломолочний (к/м сир)	Біологічний-розвиток ПМ	Якщо Т зберігання готових до вживання продуктів перевищує норму, висока ймовірність зростання небезпечних патогенних мікробів. Можливе забруднення продуктів під час зберігання.	3	3	ПП щодо зберігання та транспортування ПП щодо чистоти поверхонь, процедур прибирання виробничих, допоміжних, побутових приміщень та інших поверхонь
	Хімічний 2	Ризики знижуються якщо ведеться контроль ТР	1	1	
	Фізичний	Недотримання Т та часу зберігання	1	1	



Закінчення таблиці 6

1	2	3	4	5	6
Зберігання сухих харчових продуктів та меду	Біологічний-розвиток ПМ	Передбачені стандартні заходи за підтриманням санітарного стану робочих місць, виконання вимог до особистої гігієни працівників, здійснення профілактичних дезінфекцій обладнання, що дозволять випускати мікробіологічно чисті харчові продукти.	2	3	ПП щодо зберігання та транспортування ПП щодо чистоти поверхонь, процедур прибирання приміщень та інших поверхонь
	Хімічний 2		1	1	
	Фізичний		1	1	
Підготовка сировини: перетирання к/м сиру	Біологічний	Недотримання ТР	4	4	ПП щодо санітарної обробки та зберігання робочого інвентаря
	Хімічний 2	Можуть бути залишки миючих засобів на обладнанні, інвентарю, потрапляння сторонніх включень	1	1	
	Фізичний		2	4	
З'єднання та перемішування компонентів батончика	Біологічний-розвиток ПМ	Недотримання ТР	4	4	ПП щодо санітарної обробки та зберігання робочого інвентаря
	Хімічний 2	Можуть бути залишки миючих засобів на обладнанні, інвентарю, потрапляння сторонніх включень	1	1	
	Фізичний		2	4	
Запікання	Біологічний	Недотримання ТР та умов експлуатації устаткування.	2		ПП щодо контролю технологічних процесів
	Фізичний		1		
Зберігання готових до вживання батончиків	Біологічний-розвиток ПМ	У потенційно небезпечних харчових продуктах буде відбуватися швидке зростання патогенної мікрофлори при пошкодженні упаковки та недотриманні температурних умов.	4	4	ПП щодо контролю технологічних процесів; щодо чистоти поверхонь, процедур прибирання приміщень та інших поверхонь
	Фізичний		2	4	
Видалення відходів, сміття	Біологічний	Ризики знижуються при правил санітарної обробки приміщень, своєчасного видалення відходів з виробничих приміщень	1	1	ПП щодо контролю санітарного стану виробничих приміщень. ПП щодо своєчасного видалення сміття
	Хімічний		1	1	
	Фізичний		1	1	
Миття посуду, інвентарю	Біологічний	Ризики знижуються при дотриманні санітарної обробки обладнання.	1	1	ПП щодо контролю процесів обробки, миття інвентарю, посуду
	Хімічний 2	Імовірність прояву фактору зростає при неправильному використанні миючих засобів під час миття і ополіскування посуду.	1	3	
	Фізичний	Недотримання ТР	1	1	

\*ЙП – ймовірність появи; ТН – тяжкість наслідків; Т – температура; ТР – температурний режим; ПМ – патогенні мікроорганізми; ПП – процедури перевірки; Хімічний 1 – наявність токсичних елементів, пестицидів, мікотоксинів, нітратів, радіонуклідів; Хімічний 2 – залишки миючих/дезінфікуючих засобів

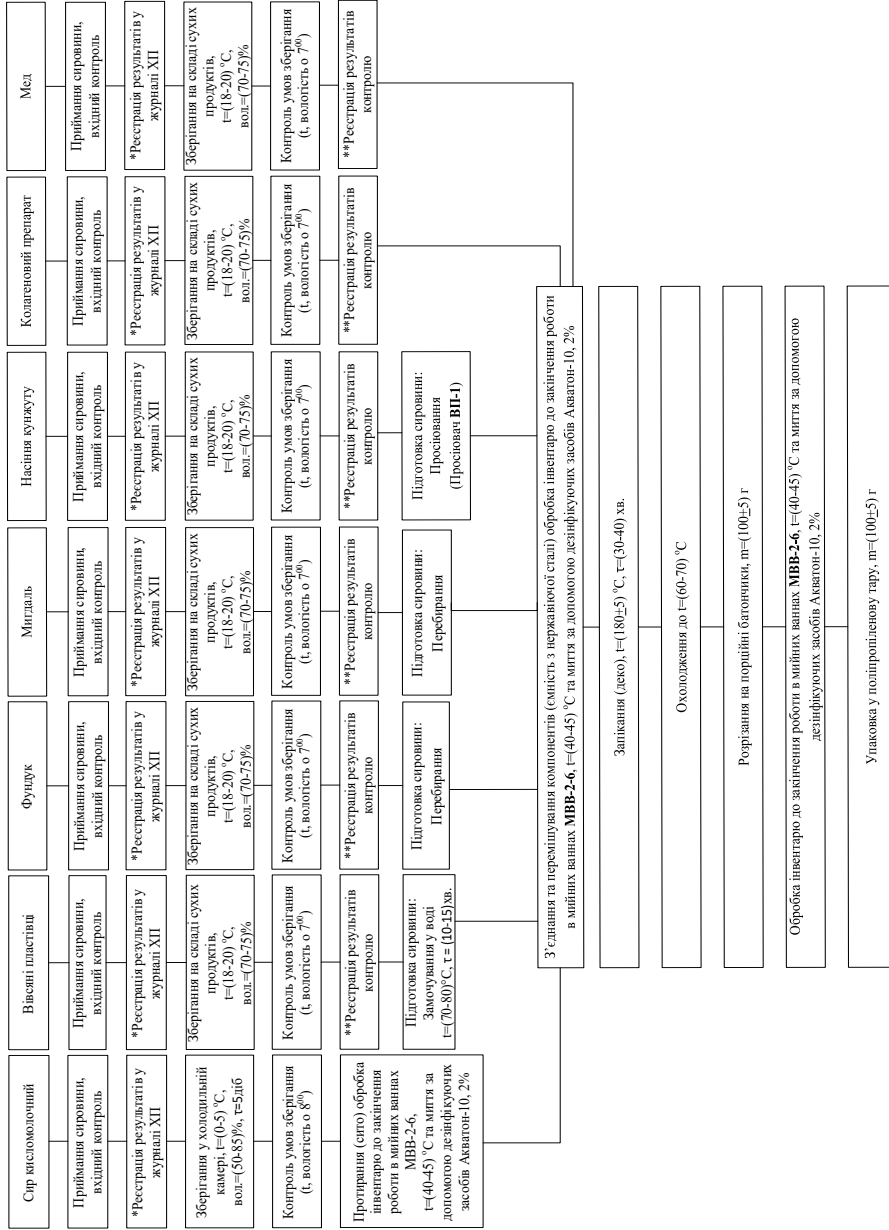


Рис. 5. Схеми впровадження системи НАССР у виробництво продукту «Білковий батончик «Відновлення»»

**Висновки.** На підставі проведених досліджень визначено оптимальне співвідношення основних рецептурних компонентів для виготовлення 3 видів білкових батончиків. Аналіз хімічного складу обраних рецептурних компонентів їх функціональних властивостей, а також дегустаційний аналіз дали можливість розробити рецептурні композиції білкових батончиків, які можна рекомендувати людям зі значними фізичними та нервовими навантаженнями. Проведено аналіз зміни мікробіологічних показників впродовж зберігання в поліпропіленовій тарі. Отримані дані показали, що в упаковці батончики можуть зберігатись більш ніж 14 днів без накопичення патогенної та умовно патогенної мікробіоти. Дослідження сенсорних показників батончиків показало, що вони володіють високими сенсорними показниками, привабливі для потенційних споживачів. Результати дослідження були впроваджені у виробництво ГО «МООЛМС «МОЛОДЬ – МАЙБУТНЄ НАЦІЇ» на устаткуванні міні-пекарні «ХліББери» в період з 25.11.2022 по 29.11.2022 рр.

Таким, чином розроблені технології виробництва батончиків білкових можливо впроваджувати у виробництво в закладах ресторанного господарства різного профілю та на підприємствах харчової промисловості.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Зарукіна М.Ю. Формування ринку протеїнових батончиків в Україні. *Формування механізмів управління якістю та підвищення конкурентоспроможності підприємств* : IX Міжнародна наук.-практ. І.-конф. студ., асп. та молодих вчених: тези доповідей. 2018. С. 286–290.
2. Jiang Z., Wang K., Zhao X., Li J., Yu R., Fu R., He Y., Zhao P., Oh K.-C., Hou J. High-protein nutrition bars: Hardening mechanisms and anti-hardening methods during storage. *Food Control*, 127, Article 108127. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108127>
3. Waller M.C., Kerr D.A., Binnie M.J., Eaton E., Wood C., Stenvers T., Ducker K. J. Supplement use and behaviors of athletes affiliated with an Australian state-based sports institute. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2019. № 29(5). P. 518–525. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0336>
4. Jabeen S., Huma N., Sameen A., Zia M. A. Formulation and characterization of protein-energy bars prepared by using dates, apricots, cheese and whey protein isolate. *Food Sci. Technol.* 2021. № 41(1). P. 197–207. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.12220>
5. Sunyoto M., Andoyo R., Masitoh E. Characteristics of High Protein Snack Bar Made of Modified Sweet Potato Flour. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. № 347(1), Article 012064. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012064>
6. Szydłowska A., Zielińska D., Łepecka A., Trzaskowska M., Neffe-Skocińska K., Kołożyn-Krajewska D. Development of Functional High-Protein Organic Bars with the Addition of Whey Protein Concentrate and Bioactive Ingredients. *Agriculture*. 2020. № 10(9). P. 390. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10090390>

#### REFERENCES:

1. Zarukina, M. Yu. (2018). Formuvannya rynku proteinovykh batonchykiv v Ukraini. *Formuvannya mekhanizmv upravlinnia yakistiu ta pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpriemstv* : IKh Mizhnarodna nauk.-prakt. I.-konf. stud., asp. ta molodykh vchenykh: tezy dopovidei, 286–290.
2. Jiang, Z., Wang, K., Zhao, X., Li, J., Yu, R., Fu, R., He, Y., Zhao, P., Oh, K.-C., Hou, J. (2021). High-protein nutrition bars: Hardening mechanisms and anti-hardening methods during storage. *Food Control*, 127, Article 108127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108127>

3. Waller, M. C., Kerr, D. A., Binnie, M. J., Eaton, E., Wood, C., Stenvers, T., & Ducker, K. J. (2019). Supplement use and behaviors of athletes affiliated with an Australian state-based sports institute. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(5), 518–525. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0336>
  4. Jabeen, S., Huma, N., Sameen, A., Zia, M. A. (2021). Formulation and characterization of protein-energy bars prepared by using dates, apricots, cheese and whey protein isolate. *Food Sci. Technol*, 41(1), 197–207. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.12220>
  5. Sunyoto, M., Andoyo, R., Masitoh, E. (2019). Characteristics of High Protein Snack Bar Made of Modified Sweet Potato Flour. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 347(1), Article 012064. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012064>
  6. Szydłowska, A., Zielińska, D., Łepecka, A., Trzaskowska, M., Neffe-Skocińska, K., Kołożyn-Krajewska, D. (2020). Development of Functional High-Protein Organic Bars with the Addition of Whey Protein Concentrate and Bioactive Ingredients. *Agriculture*, 10(9), 390. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10090390>
-

УДК 664.641.12:633.111  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.21>

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В БОРОШНО

**Любич В. В.** – доктор сільськогосподарських наук, професор,  
професор кафедри харчових технологій  
Уманського національного університету садівництва  
ORCID ID: 0000-0003-4100-9063

**Єремєєва О. А.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій  
Уманського національного університету садівництва  
ORCID ID: 0000-0001-5973-7814

Відповідно до прийнятої структури сортів помелів пшениці перші три розмелювальні системи подрібнюють продукти першої якості. На цих системах утворюється найбільша кількість борошна високих сортів, тому дослідження режимів подрібнення цих систем має велике значення для отримання найбільшого виходу борошна вищого сорту. Метою роботи є дослідження щодо вдосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно для зниження енерговитрат у процесі його виробництва. Дослідженнями проведеними у виробничих умовах встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцьового верстату при подрібненні сходових продуктів з 1-ї розмелювальної системи на 2-ій розмелювальній системі відбувається зменшення виходу дрібної крупки та дунстів, а вихід борошна 1-го сорту збільшується на незначну величину. вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи може дати максимальний добуток борошна до 35 %, в той же час додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисмембраторі дозволяє підвищити загальний добуток борошна вищого сорту до 60 %, що на 25 % більше ніж при застосуванні тільки одного вальцьового верстата. Дослідженнями встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Зі збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 31,0 %, вихід борошна після ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1 % до 30,6 %. Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак. Отже, найбільшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцьовому верстаті – 35 %. При цьому застосування ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62 %.

**Ключові слова:** борошно, розмел, крупка, дунст, ентолейтор-дисмембратор, вальцьовий верстат.

### **Liubych V. V., Yermeeva O. A. Improvement of the technological process of wheat grain grinding into flour**

In accordance with the adopted structure of graded wheat grinding, the first three grinding systems grind products of the first quality. On these systems, the largest amount of high-grade flour is formed. Therefore, the study of grinding modes of these systems is of great importance for obtaining the largest yield of high-grade flour. The aim of the work is research on improving the technological process of grinding wheat grain into flour to reduce energy consumption in the process of its production. The research carried out in production conditions established that the roll spacing of the mill is reduced when grinding the grain products from the 1st grinding system to the 2nd grinding system, the yield of middlings and dusts decreases, and the yield of the 1st grade flour increases by an insignificant amount. The rolling machine of the 2nd grinding system can give a maximum flour yield of up to 35 %. At the same time, additional grinding of intermediate stock in entoleter-dismembrator allows to increase the total yield of high-grade flour to 60 %, which is 25 % more than when using only one rolling machine. Research has established that the dependence of the flour yield in ESM-1.5 entoleter-dismembrator complies

*with a linear law depending on the yield of high-grade flour in the rolling machine of the 2nd grinding system. With an increase in the yield of high-grade flour in a rolling machine from 5.3 % to 31.0 %, the yield of flour after ESM-1.5 entoleter-dismembrator increases from 23.1 % to 30.6 %, respectively. The correlation coefficient of the experimental data is 0.92, which indicates a close connection of the studied features. Therefore, the highest yield of flour on the 2nd grinding system is achieved in grinding modes on a rolling machine – 35 %. At the same time, the use of ESM-1.5 entoleter-dismembrator allows to increase the total flour yield on the 2nd grinding system up to 62 %.*

**Key words:** *flour, grinding, middlings, dust, entoleter-dismembrator, rolling machine.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Відповідно до прийнятої структури сортових помелів пшениці перші три розмелювальні системи подрібнюють продукти першої якості [1; 2]. На цих системах утворюється найбільша кількість борошна високих сортів, тому дослідження режимів подрібнення цих систем має велике значення для отримання найбільшого виходу борошна вищого сорту. Режим роботи розмелювальних систем визначається добутком борошна вищого сорту [3; 4].

Дослідженнями [5; 6] режимів подрібнення в драному процесі встановлено, що існують режими подрібнення зерна та сходових продуктів драного процесу у вальцьових верстатах при яких досягається найбільший вихід круподунових продуктів, які в подальшому направляються на збагачення. Найбільший вихід круподунових продуктів, які можна отримати в драному процесі дає можливість збільшити вихід борошна високих сортів, які отримують на перших трьох розмелювальних системах. У роботах доведено [7; 8], що збагачені крупки і дунсти подаються на розмелювальні системи, де подрібнюються до розмірів частинок менше 130 мкм, що утворюють борошно найвищої якості. Тому постає питання ефективності режимів подрібнення збагачених круподунових продуктів у вальцьових верстатах розмелювальних систем з метою отримання найбільшого виходу борошна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У літературних та інформаційних джерелах відсутні дані щодо режимів подрібнення вальцьових верстатів найбільш важливих перших трьох розмелювальних систем першої якості на яких отримують найбільшу кількість борошна високих сортів [9]. Ці питання є важливими для проектувальників під час розроблення балансів помелу нових борошномельних заводів, а також для технологів борошномельних заводів [10]. Виходячи із цього одним із таких завдань наших наукових досліджень є вивчення режимів подрібнення круподунових продуктів у вальцьових верстатах та ентолейторах-дисембраторах, а також їх сумісної дії.

Із загальних витрат енергії на млинзаводі 70...75 % витрачається у розмелювальному процесі і близько 11 % у зерноочисному відділенні. На процес подрібнення витрачається не менше 1/3 загальної кількості енергії, яка споживається [8; 11]. У розмелювальному процесі заводу 55...58 % енергії витрачається в драному процесі, 25...57 у ситовійному і шліфувальному процесах і 42...46 % – в розмелювальному процесі. Питомі витрати енергії тісно корелюють із фактичним виходом борошна. Витрати електроенергії на виробництво борошна залежить від ступеня розвинутої технологічної схеми помелу [7; 12]. При більш розвинутій технологічній схемі витрати електроенергії вищі. Рекомендовані норми питомих витрат електроенергії при багатосортних помелах із розвинутою схемою помелу становлять 65...70 кВт·год на 1 т виробленого борошна, для помелів зі скороченою схемою технологічного процесу становлять 52...60 кВт·год на 1 т виробленого борошна [3; 13]. При впровадженні нових технологій помелу та технологічних

рішень необхідно слідкувати, щоб питомі витрати електроенергії не перевищували рекомендованих норм [14]. Тому зниження витрат електроенергії на подрібнення зерна і проміжних продуктів є важливою інженерною задачею.

**Формування цілей статті.** Метою роботи є дослідження щодо вдосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно для зниження енерговитрат у процесі його виробництва.

**Матеріали і методи дослідження.** Під час проведення досліджень переробляли зерно пшениці із наступними показниками якості: натурна вага зерна – 791 г/л, вологість зерна на I драній системі – 16,2 %, скловидність – 38 %, смітна домішка – 0,4 %, зернова домішка – 2,3 %. Дослідження показників якості зерна та продуктів помелу проводили у виробничій лабораторії у виробничих умовах борошномельного заводу продуктивністю 330 т/добу. Для дослідження системи «вальцьовий верстат – ентолейтор-дисембратор» було обрано перші три розмелювальні системи першої якості, на яких встановлюють ентолейтори-дисембратори для максимального подрібнення збагачених продуктів у борошно.

Зміна режимів подрібнення та відбір зразків на першій розмелювальній системі здійснювали наступним чином: під час роботи розмелювального відділення на вказаній системі по всій довжині вальця відбирався за допомогою лотка продукт в кількості до 400...500 г. Оскільки продукти подрібнення розмелювальних систем подаються пневмотранспортом із вальцьового верстата в ентолейтори-дисембратори, а потім у циклон-розвантажувач, то відбір зразків при різних режимах подрібнення здійснювали через лючки після циклона-розвантажувача. Після відбору продукту за допомогою штурвалу, яким обладнано вальцьові верстати, змінювали зазор між вальцями і повторно здійснювали відбір продукту по всій довжині вальця та після ентолейтора-дисембратора.

Продукти подрібнення просівали на наборі сит № 27ПА-120, № 33/36ПА, № 41/43ПА та № 49/52ПА. Отримані результати виходу окремих фракцій продуктів подрібнення зображували графічно у координатах «загальний добуток борошна – вихід фракції».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Доведено, що на 1-й розмелювальній системі вальцьовий верстат може давати добуток борошна вищого сорту до 28 %, застосування ентолейторів-дисембраторів ЕСМ – 1,5 збільшує добуток борошна вищого сорту до 56 %.

Основним продуктом подрібнення для 2-ї розмелювальної системи є сходові продукти, які направляються із 1-ї розмелювальної системи. В залежності від режиму роботи 1-ї розмелювальної системи – це суміш дрібної крупки та дунстів. Можлива наявність борошна в сходових продуктах, які надходять у вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи за рахунок недосіву. Після подрібнення суміш складається із дрібної крупки, дунстів і борошна.

Дослідженнями проведеними у виробничих умовах встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцьового верстату при подрібненні сходових продуктів з 1-ї розмелювальної системи на 2-й розмелювальній системі відбувається зменшення виходу дрібної крупки та дунстів, а вихід борошна 1-го сорту збільшується на незначну величину. Результати досліджень наведено на рис. 1.

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 35,8 % вихід дрібної крупки зменшувався на 9,9 % із 11,9 % до 2,0 % за криволінійною залежністю, вихід дунстів зменшувався на 22,3 % із 53,9 % до 31,6 % за криволінійною залежністю. Вихід борошна вищого сорту

збільшувався на 2,7 % з 9,5 % до 12,2 %. Порівняння отриманих даних вказує на те, що вміст дунстів у подрібненій суміші має значний вміст і формування борошна вищого сорту відбувається за рахунок подрібнення переважно дунстів і менше дрібної крупки. Приріст борошна першого сорту є незначним у порівнянні з виходом борошна вищого сорту.

Подрібнений продукт після вальців пневмотранспортом подається в ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5, в якому додатково здійснюється подрібнення дрібної крупки та дунстів.

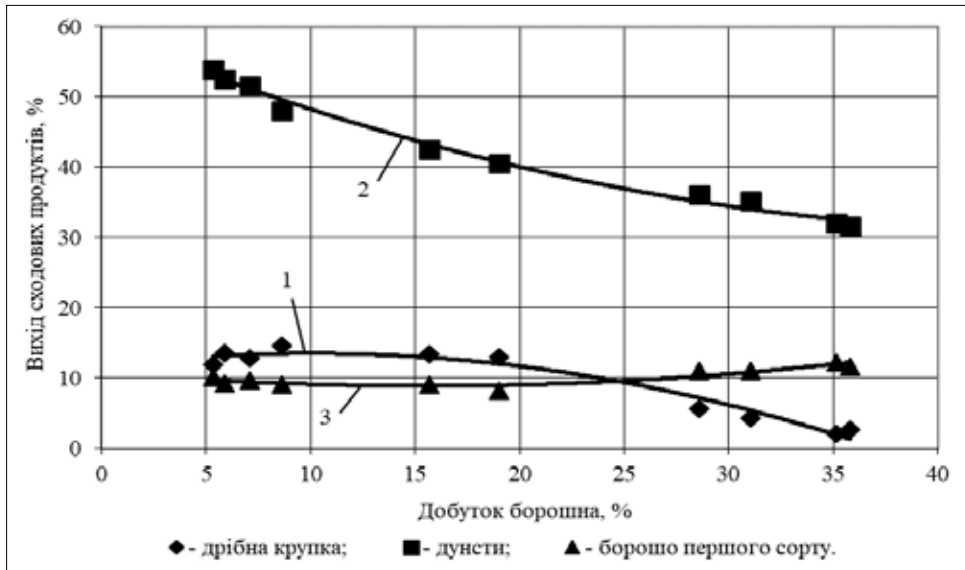


Рис. 1. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті після проходження суміші продуктів подрібнення через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 спостерігається аналогічне зменшення виходу дрібної крупки та дунстів також за криволінійними залежностями, а вихід борошна першого сорту суттєво не змінюється. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Підвищення загального добутку борошна вищого сорту з 28,5 % до 61,7 % на 2-й розмелювальній системі призвело до зниження виходу дрібної крупки на 5,2 % з 6,0 % до 0,8 %, дунстів на 27,9 % з 37,3 % до 9,4 %. Вихід борошна першого сорту суттєво не збільшився і коливався в межах від 9,0 % до 11,0 %.

Із аналізу рис. 1 та 2 також видно, що вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи може дати максимальний добуток борошна до 35 %, в той же час додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисембраторі дозволяє підвищити загальний добуток борошна вищого сорту до 60 %, що на 25 % більше ніж при застосуванні тільки одного вальцьового верстата.

Вихід продуктів подрібнення на 2-й розмелювальній системі в залежності від загального добутку борошна вищого сорту  $B_{\text{б.в.с}}$  описується наступними рівняннями:



вихід дрібної крупки на 2-й розмелювальній системі:

$$B_{ор.кр} = -0,00291 B_{б.в.с.}^2 + 0,104 B_{б.в.с.} + 5,4$$

де  $B_{ор.кр}$  – вихід дрібної крупки, %;

$B_{б.в.с.}$  – загальний добуток борошна вищого сорту на 2-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,33 %.

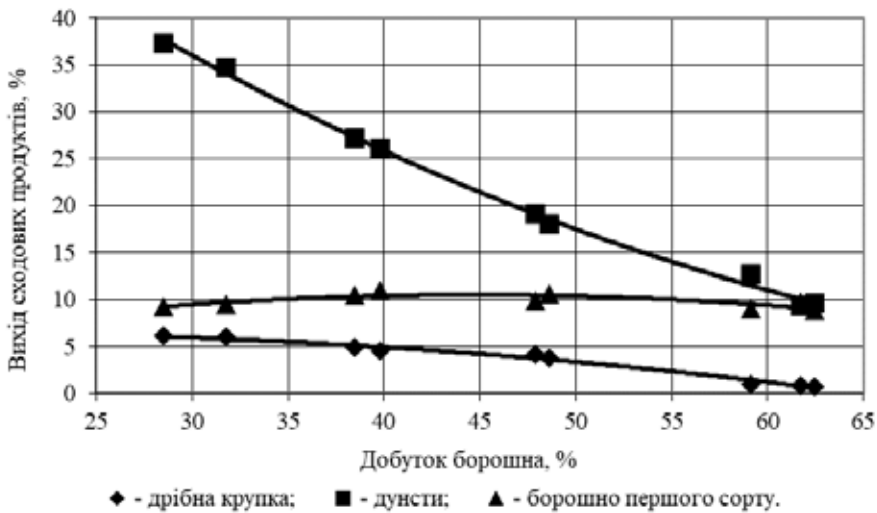


Рис. 2. Вихід сходових продуктів на 2 розмелювальній системі (вальцьовий верстат + ентолейтор-дисембратор) з врахуванням недосіву

Дослідженнями встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейтор-дисембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Зі збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 31,0 %, вихід борошна після ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1 % до 30,6 %. Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак.

Пояснити цю залежність можна тим, що вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи подрібнюючи проміжні продукти, які на нього подаються, створює мікротріщини в крупках і дунстах, порушує мікроструктуру частинок, знижуючи їх міцність, які потім руйнуються до дрібніших частинок по межі утворених тріщин при проходженні через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5. Для забезпечення найбільшого виходу борошна високих сортів можна рекомендувати максимально низькі режими подрібнення у вальцьовому верстаті. Під час проведення виробничих досліджень досягнути умов при яких процес подрібнення буде супроводжуватися утворенням пластівців не вдалося.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Визначено режими подрібнення та запропоновано математичні залежності добутку борошна

та круподунстових продуктів першої розмелювальної системи із додатковим обладнанням ентолейтором-дисембратором ЕСМ-1,5. Найбільшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцювому верстаті – 35 %. При цьому застосування ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62 %. Експериментально встановлено, що залежність між добутком борошна вищого сорту у вальцювому верстаті розмелювальної системи та виходом борошна вищого сорту в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 має лінійну залежність. Результати експериментальних досліджень описано математичними залежностями, що дозволяє використовувати їх для розрахунку кількісних балансів борошна.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Любич В. В., Железна В. В., Єремєєва О. А., Новак Л. Л. Вплив режимів помелу збагачених круподунстових продуктів на вихід борошна під час сортового помелу пшениці. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. № 3. С. 150–158.
2. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В. Хлібопекарські властивості зерна спельти залежно від удобрення. *Вісник Уманського НУС*. 2015. № 1. С. 11–16.
3. Vereshchinsky A. P. Grain preparation by hulling in mills of high-quality grinding of wheat. *Storage and processing of grain*. 2009. Vol. 11. P. 34–35.
4. Mateos-Salvador F., Sadhukhan J., Campbell G. M. Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. *Powder Technology*. 2013. Vol. 237. P. 107–116.
5. Fistes A., Tanovic G., Mastilovic J. Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 85. P. 296–302.
6. Mateos-Salvador F., Sadhukhan J., Campbell G. M. The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*. 2011. Vol. 208. P. 144–157.
7. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brdar M. Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 102. P. 346–353.
8. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brda M. Solution of the breakage matrix reverse problem. *Powder Technology*. 2014. Vol. 268. P. 412–419.
9. Господаренко Г. М., Любич В. В., Новіков В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В. Вплив типу зерна пшениці на техніко-економічні показники круп'яного виробництва та кулінарну оцінку готового продукту. *Вісник Уманського НУС*. 2017. № 1. С. 38–44.
10. Mabile J., Abecassis F. Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective. *Journal of Cereal Science*. 2003. Vol. 37. P. 43–53.
11. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. № 2. С. 35–41.
12. Любич В. В., Железна В. В., Стратуца Я. С. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 3. С. 133–143.
13. Господаренко Г. М., Любич В. В., Железна В. В., Новіков В. В. Оптимізація технології хліба з використанням борошна гарбузового. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 81–87.
14. Любич В. В., Железна В. В., Новіков В. В. Формування кулінарної якості хліба з борошном гарбузовим різних сортів. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2022. Вип. 2. С. 5–10.

## REFERENCES:

1. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Ereneyeva, O.A., Novak, L.L. (2020). Vplyv rezhymiv pomelu zbahachenykh krupodunstovykh produktiv na vykhid boroshna pid chas sortovoho pomelu pshenytsi [The effect of grinding regimes of enriched grain products on the yield of flour during graded milling of wheat]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho – Academic notes of the Tavri National University named after V.I. Vernadskyi*, 3, 150–158 [in Ukrainian].
2. Hospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., Polyanetska, I.O., Voziyan, V.V. (2015). Khlibopekarski vlastyvoli zerna spelyt zalezho vid udobrennia [Baking properties of spelled grain depending on fertilizer]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of Uman NUS*, 1, 11–16 [in Ukrainian].
3. Vereshchinsky, A. P. (2009). Grain preparation by hulling in mills of high-quality grinding of wheat. *Storage and processing of grain*, no. 11, pp. 34–35 [in English].
4. Mateos-Salvador, F., Sadhukhan, J., Campbell, G. M. (2013). Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. *Powder Technology*, no. 237, pp. 107–116 [in English].
5. Fistes, A., Tanovic, G., Mastilovic, J. (2008). Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. *Journal of Food Engineering*, no. 85, pp. 296–302 [in English].
6. Mateos-Salvador, F., Sadhukhan, J., Campbell, G. M. (2011). The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*, no. 208, pp. 144–157 [in English].
7. Fistes, A., Rakic, D., Takaci, A., Brdar, M. (2013). Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. *Chemical Engineering Science*, no. 102, pp. 346–353 [in English].
8. Fistes, A., Rakic, D., Takaci, A., Brda, M. (2014). Solution of the breakage matrix reverse problem. *Powder Technology*, no. 268, pp. 412–419 [in English].
9. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Novikov, V. V., Polyanetska, I. O., Voziyan, V. V. (2017). Vplyv typu zerna pshenytsi na tekhniko-ekonomichni pokaznyky krupianoho vyrobnytstva ta kulinarnu otsinku hotovoho produktu [The influence of the type of wheat grain on the technical and economic indicators of cereal production and the culinary evaluation of the finished product]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of the Uman State University*, 1, 38–44 [in Ukrainian].
10. Mabile, J., Abecassis, F. (2003). Parametric modelling of wheat grain morphology: a new perspective. *Journal of Cereal Science*, no. 37, pp. 43–53 [in English].
11. Liubich, V.V. (2017). Khlibopekarski vlastyvoli zerna sortiv pshenytsi ozymoi zalezho vid vydiv, norm i strokiv zastosuvannia azotnykh dobryv [Bread properties of grain of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of application of nitrogen fertilizers]. *Visnyk Dnipropetrovskoho DAEU – Bulletin of Dnipropetrovsk State Economic University*, 2, 35–41 [in Ukrainian].
12. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Stratutsa, Ya.S. (2022). Perspektyvy vykorystannia trytykale v khlibopekarskii promyslovosti [Prospects for the use of triticale in the bakery industry]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 3, 133–143 [in Ukrainian].
13. Gospodarenko, H. M., Lyubich, V. V., Zhelezna, V. V., Novikov, V. V. (2022). Optyimizatsiia tekhnolohii khliba z vykorystanniam boroshna harbusovoho [Optimization of bread technology using pumpkin flour]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of the Uman State University*, 1, 81–87 [in Ukrainian].
14. Lyubich, V.V., Zhelezna, V.V., Novikov, V.V. (2022). Formuvannia kulinarnoi yakosti khliba z boroshnom harbusovym riznykh sortiv [Formation of the culinary quality of bread with pumpkin flour of different varieties]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of the Poltava University of Economics and Trade*, 2, 5–10 [in Ukrainian].

УДК 687.63

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.22>

## ВИВЧЕННЯ ХАРЧОВОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ПРЕСЕРВІВ ПОКРАЩЕНОЇ ЯКОСТІ

**Новікова Н. В.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри інженерії харчового виробництва  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

**Єфимова А. Л.** – голова циклової комісії «Технології та хімії»,  
викладач технології виробництва кулінарної продукції  
Кропивницького фахового коледжу харчування та торгівлі  
ORCID ID: 0000-0002-4603-9352

**Лещик О. А.** – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-6594-5828

У статті на підставі вивчення літературних джерел, щодо хімічного складу журавлини і бузини визначено перспективу розроблення рецептурного складу та технологічної схеми виробництва рибних пресервів. Характерною особливістю розробленого нами нового виду пресервів є те, що як фруктову заливку використовували свіжий сік із плодів бузини та журавлини.

Для виготовлення пресервів, рослинну сировину ми маринували у розчині, який містив: воду – 65,77 %, оцет 9 % – 18,42 %, цукор – 13,5 %, сіль – 2,63 %. Співвідношення рослинна сировина: маринад складало 1:1,5. Готовність продукту в кінці маринування визначали за показником титрованої кислотності (0,3 %). Кріп подрібнювали та висушували у сушильній шафі за температури  $102 \pm 2$  °C.

Аналіз вмісту мінеральних елементів пресервів засвідчив наявність у їх складі широкого спектру макро- та мікроелементів. Мінеральний склад дослідних зразків пресервів є більш збагаченим порівняно з контрольним зразком, що можна пояснити різноманітним якісним вмістом мінеральних сполук у рослинній сировині.

Вміст жиру у готових пресервах становив від 3,21 до 4,18 %, що позитивно впливає на смакові властивості продукту. За вмістом мінеральних речовин дослідні зразки відрізняються у порівнянні із контролем. На нашу думку, це пояснюється тим, що рослинні добавки містять широкий спектр мінеральних речовин, що сприяє оптимізації мінерального складу готових пресервів.

За результатами оцінки органолептичних показників дослідних зразків пресервів було зроблено висновок, що рослинні добавки та прянощі сприяють утворенню присмного, характерного, гармонійного смаку і запаху готових пресервів, а також мають позитивний вплив на їх структурно-механічні властивості, зокрема на консистенцію.

Дослідженнями виявлено, що нестача нікотинової кислоти в організмі людини призводить до порушення функцій травного тракту, серцево-судинної системи та психічних розладів, а також вона бере участь у метаболізмі жирів, протеїнів, амінокислот, пуринів, тканинному диханні, глікогенолізі, синтетичних процесах. Виявлено найбільшу кількість ніацину у рибних пресервах з бузиною та журавлиною відповідно 0,62 та 0,51 мг.

**Ключові слова:** риба, пресерви, рослинні добавки, споживчі властивості, біологічна цінність.

**Novikova N. V., Yefimova A. L., Lechchyk O. F. Study of the nutritional and biological value of improved quality preserves**

In the work, based on the study of literary sources, regarding the chemical composition of cranberry and elderberry, the prospect of developing the recipe composition and technological scheme for the production of fish preserves is determined. A characteristic feature of the new type

of preserves developed by us is that fresh juice from elderberries and cranberries was used as a fruit filling.

To make preserves, we marinated vegetable raw materials in a solution containing: water – 65.77 %, vinegar 9 % – 18.42 %, sugar – 13.5 %, salt – 2.63 %. The ratio of vegetable raw materials: marinade was 1:1.5. The readiness of the product at the end of pickling was determined by titrated acidity (0.3 %). Dill was crushed and dried in an oven at a temperature of  $102 \pm 2$  °C.

The analysis of the mineral content of preserves confirmed the presence of a wide range of macro- and microelements in their composition. The mineral composition of experimental samples of preserves is more enriched compared to the control sample, which can be explained by the various qualitative content of mineral compounds in plant raw materials.

The fat content in ready-made preserves ranged from 3.21 to 4.18 %, which has a positive effect on the taste properties of the product. According to the content of mineral substances, the experimental samples differ in comparison with the control. In our opinion, this is explained by the fact that herbal supplements contain a wide range of mineral substances, which helps to optimize the mineral composition of ready-made preserves.

Based on the results of the evaluation of the organoleptic indicators of experimental samples of preserves, it was concluded that plant additives and spices contribute to the formation of a pleasant, characteristic, harmonious taste and smell of finished preserves, and also have a positive effect on their structural and mechanical properties, in particular on consistency.

Studies have shown that the lack of nicotinic acid in the human body leads to impaired functions of the digestive tract, cardiovascular system, and mental disorders, and it is also involved in the metabolism of fats, proteins, amino acids, purines, tissue respiration, glycogenolysis, and synthetic processes. The largest amount of niacin was found in fish preserves with elderberry and cranberry, 0.62 and 0.51 mg, respectively.

**Key words:** fish, preserves, plant additives, consumer properties, biological value.

**Вступ.** Забезпечення населення повноцінними збалансованими харчовими продуктами є визначальним напрямом державної політики будь-якої розвиненої країни. Повноцінними і стратегічно важливими продуктами є риба і рибні продукти.

Рибні пресерви – смачні, делікатесні харчові продукти, які користуються на сьогодні підвищеним попитом у населення України. Вони мають високу біологічну цінність, оскільки містять білок, жир, мінеральні речовини, а також вітаміни у кількостях, притаманних нативній сировині. Простота виготовлення, досить високий вихід готової продукції, а також широкі можливості комбінування сировини дозволяють отримати продукт із заданою харчовою та біологічною цінністю, що відповідає формулі збалансованого харчування [5; 7].

**Постановка проблеми.** Останнім часом виробництво пресервів стає одним із перспективних напрямів використання рибної сировини для випуску цінної продукції, в тому числі й делікатесної. На сьогоднішній день їх асортимент представлений, в основному, пресервами із риб родини оселедцевих в різноманітних соусах та заливках. Це пояснюється, насамперед, вітчизняними традиціями споживання, а також більш низьким ціновим рівнем у порівнянні з пресервами з інших видів риб, таких як: горбуша, кета, сьомга тощо. Традиційні способи виробництва рибних пресервів не враховують можливості використання рослинних добавок для підвищення біологічної цінності і смакоароматичних властивостей готової продукції, тому виготовлення пресервів з використанням біологічно цінної рослинної сировини є надзвичайно актуальним [3; 5].

**Мета дослідження.** Метою роботи є вивчення харчової та біологічної цінності нових видів пресервів збагачених біологічно цінними інгредієнтами рослинного походження.

**Аналіз останніх досліджень.** Риба відноситься до сировини з високим вмістом повноцінних білків, поліненасичених жирних кислот, мінеральних речовин, вітамінів. Однак у натуральному вигляді її неможливо назвати збалансованим

продуктом харчування, який повністю задовольняє потребу людини в пластичних речовинах і енергії. У зв'язку з цим створення комбінованих продуктів на рибній основі з додаванням інгредієнтів, сумісних з рибною сировиною за органолептичними і технологічними властивостями, передусім, рослинного походження, дозволяє отримати збалансований за складом харчовий продукт з високою харчовою цінністю. Останнім часом в Україні виробляється досить широкий асортимент рибних пресервів у різноманітних заливках і соусах, які характеризуються високою харчовою цінністю і гарними смаковими характеристиками. Однак традиційні способи виробництва рибних пресервів не враховують усі можливості використання у фруктових-ягідних соусах соку різноманітних плодів для підвищення біологічної цінності і поліпшення органолептичних властивостей готової продукції [1; 4].

Створення продуктів на рибній основі з включенням рослинних інгредієнтів, сумісних із рибною сировиною за органолептичними та технологічними властивостями, дозволяє обрати збалансовані по складу риборослинні пресерви – з високою харчовою цінністю, що сприяє оздоровленню нації та дозволяє розширити асортимент продукції на ринку.

Біокомпоненти грибів підвищують імунітет, чинять гепатопротекторну, протипухлинну, антидіабетичну, кардіологічну дію, сприяють зниженню рівня «шкідливого» холестерину, покращують функціональний стан нервової та статевих систем [7].

Відомий спосіб виробництва пресервів з додаванням апельсину. Для приготування рибних пресервів в апельсиновому соусі «Нептун» як рибної сировини використовується заморожений оселедець тихоокеанський. Рецептuru соусу містить такі інгредієнти – цукор, бензойнокислий натрій, свіжовиготовлений апельсиновий сік. Сировина та допоміжні матеріали повинні відповідати вимогам діючої нормативно-технічної документації. Вибір рослинної сировини, сік якої використовується як один із інгредієнтів фруктових-ягідного соусу рибних пресервів авторами, проводився на підставі вивчення поширеності і доступності для виробничих підприємств, а також для мережі торговельних організацій із власним виробництвом рибних продуктів, хімічного, амінокислотного та вітамінного складів за довідковими даними. У результаті проведеного аналізу були обрані плоди апельсинового дерева, які, є перспективною сировиною у виробництві рибних пресервів [5].

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Оптимізацію рецептур рибних пресервів здійснювалася за вмістом рослинних добавок. Концентрації доданих добавок визначалися з урахуванням їх впливу на загальний хімічний, мінеральний, вітамінний склад готового продукту, а також вплив на органолептичні показники, та термін зберігання.

Розробка і конструювання рецептур та технології виготовлення пресервів проводилися за результатами експериментальних досліджень з урахуванням впливу окремих сировинних компонентів на якість готових виробів. Вихідні компоненти підбирали, враховуючи показники оптимізації та споживацькі переваги [3].

Нами розроблено рецептуру рибних пресервів «З бузиною» та «З журавлиною» підвищеної біологічної цінності, до складу якої входить філе оселедця 75 % та 72 % відповідно у пресервах з журавлиною і з бузиною, цукор – 8 %, сіль – 65 %, сік з бузини 11 % та сік з журавлини 9 %, прянощі по 3 % (табл. 1).

Характерною особливістю розробленого нами нового виду пресервів є те, що як фруктову заливку використовували свіжий сік із плодів бузини та журавлини.

Чистий сік після фільтрації піддавали пастеризації за температури 50 °С, додавали цукор, бензойнокислий натрій, прянощі. Компоненти заливки перемішували та охолоджували, після чого заливали нею оселедець.

Таблиця 1

## Рецептурний склад пресервів покращеної якості

Назва розроблених пресервів	Вміст у %					
	Філе оселедця	Цукор	Сіль	Сік з бузиною	Сік з журавлиною	Прянощі
Пресерви з бузиною	72	8	5	11	-	3
Пресерви з журавлиною	75	8	5	-	9	3

Для виготовлення пресервів, рослинну сировину ми маринували у розчині, який містив: воду – 65,77 %, оцет 9 % – 18,42 %, цукор – 13,5 %, сіль – 2,63 %. Співвідношення рослинна сировина:маринад складало 1:1,5. Готовність продукту в кінці маринування визначали за показником титрованої кислотності (0,3 %). Кріп подрібнювали та висушували у сушильній шафі за температури 102±2 °С.

Скляні банки мили в розчині, що містив їдкий натр (3 %), ретельно промивали водою, обсушували та стерилізували в стерилізаторі за  $t = 120$  °С,  $\tau = 15$  хв.

Білки – основний будівельний матеріал клітин, ферментів, гормонів, імунних тіл. Вони беруть участь у транспорті кисню, в обміні вітамінів, мінеральних речовин, жирів, вуглеводів, є енергетичним матеріалом (забезпечують до 15 % енергоцінності добового раціону) [2].

Аналіз загального хімічного складу пресервів засвідчив, що вміст білку у дослідних зразках пресервів коливається від 11,1 % до 11,6 % (табл. 2).

Найменший вміст білку відмічено у пресервах контрольного зразка, а найбільшу у пресервах з бузиною, що пояснюється більшим вмістом добавок.

Вміст жиру у готових пресервах становив від 3,21 до 4,18 %, що позитивно впливає на смакові властивості продукту. За вмістом мінеральних речовин дослідні зразки відрізняються у порівнянні із контролем. На нашу думку, це пояснюється тим, що рослинні добавки містять широкий спектр мінеральних речовин, що сприяє оптимізації мінерального складу готових пресервів.

Таблиця 2

## Загальний хімічний склад рибних пресервів, %

Найменування показників	Зразки пресервів		
	Контроль	з журавлиною	з бузиною
Вміст вологи	79,2 ± 2,4	80,2 ± 2,4	81,1 ± 2,3
Вміст білку	11,1 ± 0,8	11,3 ± 0,9	11,6 ± 0,9
Вміст жиру	4,18 ± 0,21	3,21 ± 0,22	3,28 ± 0,26
Вміст мінеральних речовин	5,08 ± 0,14	5,25 ± 0,17	5,58 ± 0,16

Аналіз амінокислотного складу показав, що досліджувані зразки пресервів містять весь комплекс незамінних амінокислот (табл. 3).

Таблиця 3

**Амінокислотний скор білків рибних пресервів  
(у порівнянні зі шкалою ФАО/ВООЗ), %**

Амінокислоти	Контроль	Пресерви з журавлиною	Пресерви з бузиною
Валін	80,4	92,2	93,6
Ізолейцин	93,0	104,3	99,9
Лейцин	113,6	119,9	125,7
Лізин	168,9	181,5	163,9
Треонін	128,0	122,5	114,9
Триптофан	87,0	93,0	86,4
Цистин + метіонін	70,9	95,1	89,7

Домінуючою амінокислотою у всіх зразках пресервів є лізин. Відмічено також високий вміст треоніну, тирозину та фенілаланіну. Лімітуючими амінокислотами є триптофан, а також цистин і метіонін.

Досліджувані зразки рибних пресервів за рахунок внесення рослинної сировини вдалося збагатити аскорбіновою кислотою, фолацином та рутином, які беруть участь у процесах метаболізму, захищають молекули (білки, ліпіди, вуглеводи та ін.) від пошкодження активними формами кисню. Також вони потрібні для синтезу гормонів, що грають важливу роль у реакції серцево-судинної системи на важку інфекцію, і допомагає засвоювати залізо (табл. 4).

Таблиця 4

**Вітамінний склад рибних пресервів з оселедцем, мг/100 г р ≤ 0,05; n = 3**

Вітаміни	Добова потреба, мг	Рибні пресерви		
		Контроль	Пресерви з журавлиною	Пресерви з бузиною
Водорозчинні:				
Тіамін (В <sub>1</sub> )	1,5	0,90	0,32	0,57
Рибофлавін (В <sub>2</sub> )	1,8	0,06	0,18	0,24
Аскорбінова кислота (С)	80,0	-	1,19	9,22
Ніацин (РР)	20,0	0,33	0,51	0,62
Фолацин (В <sub>9</sub> )	0,2	-	0,020	0,015
Рутин (Р)	50,0	-	0,49	0,53
Жиророзчинні:				
β-каротин	0,7	-	0,09	0,31
Ретинол (А)	0,1	0,003	0,08	0,06
Токоферол (Е)	15,0	0,05	1,60	0,51
Філохінон (К)	0,3	-	-	0,04

Дослідженнями виявлено, що нестача нікотинової кислоти в організмі людини призводить до порушення функцій травного тракту, серцево-судинної системи та психічних розладів, а також вона бере участь у метаболізмі жирів, протеїнів, амінокислот, пуринів, тканинному диханні, глікогенолізі, синтетичних процесах. [18; 27]. Виявлено найбільшу кількість ніацину у рибних пресервах з бузиною та журавлиною відповідно 0,62 та 0,51 мг.



**Висновки і пропозиції.** У статті обґрунтовано технологію виробництва рибних пресервів покращеної якості в умовах харчових підприємств Півдня України. Розроблено рецептуру рибних пресервів «З бузиною» та «З журавлиною» підвищеної біологічної цінності, до складу якої входить філе оселедця 75 % та 72 % відповідно у пресервах з журавлиною і з бузиною, цукор – 8 %, сіль – 65 %, сік з бузини 11 % та сік з журавлини 9 %, прянощі по 3 %.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Абрамова Л. С. Перспективні технології нових видів рибної продукції. *Рибна промисловість*. 2014. № 2. С. 19–22.
2. Афонін В. В. Функціональні продукти харчування – нове направлення харчових технологій. *Наука та інновації*. 2013. № 4. С. 33–39.
3. Бакай В. Оселедець завжди в моді. *Світ продуктів*. 2019. № 5 (54). С. 34–36.
4. Капрелянц Л.В. *Функціональні продукти* / Л.В. Капрелянц, Г.К. Іоргачова. Одеса : Друк, 2003. 312 с.
5. Скрипко А. В. Обґрунтування та розробка технології рибних паштетів із соєвою білковою пастою : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Б., 2002. 27 с.
6. Тимофєєва О. В. Фактори формування споживних властивостей рибних пресервів на основі прісноводної риби. *Вісник КНТЕУ. Спецвипуск наукових робіт молодих вчених*. 2015. № 3. С. 191–198.
7. Шендерюк В. І. Малосолоні пресерви з балтійського оселедця. *Рибна промисловість*. 2017. № 4. С. 30–31.
8. Ященко О. В. Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення. *Гігієна населених місць*. 2012. № 59. С. 234–240.

#### REFERENCES:

1. Abramova L. S. (2014) Promising technologies of new types of fish products. *Fishing industry*, 2, pp. 19–22.
2. Afonin V. V. (2013) Functional food products – a new direction of food technologies. *Science and innovation*, 4, pp. 33–39.
3. Bakai V. (2019) Herring is always in fashion. *The world of products*, 5 (54), pp. 34–36.
4. Kaprelyants L.V. (2003) Functional products / L.V. Kaprelyants, G.K. Iorgachova. Odessa: Druk, 312 p.
5. Skrypko A. B. (2002) Justification and development of the technology of fish pastes with soy protein paste: autoref. thesis ... candidate technical of science B., 27 p.
6. Timofeeva O. V. (2015) Factors of formation of consumption properties of fish preserves based on freshwater fish. *Bulletin of KNTEU. Special issue of scientific works of young scientists*, 3, pp. 191–198.
7. Shenderyuk V. I. (2017) Low-salt preserves from Baltic herring. *Fishing industry*. 4, pp. 30–31.
8. Yashchenko O. V. (2012) Kharchova and the biological role of edible and medicinal mushrooms in population nutrition. *Hygiene of populated areas*, 59, pp. 234–240.

УДК 665.333.4:577.161.3:665.345.4  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.23>

## ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА КУПАЖУ НА ОСНОВІ КУКУРУДЗЯНОЇ І ЛЛЯНОЇ ОЛІЙ

**Озоліна С. О.** – кандидат хімічних наук,  
доцент кафедри харчової хімії та експертизи  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-2521-5182

**Антіпіна О. О.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчової хімії та експертизи  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6633-5178

Здоров'я нації – один з головних пріоритетів керівництва кожної цивілізованої держави. Для досягнення цієї мети дуже важливим є забезпечення адекватного харчування населення. Зокрема, важливим фактором є збалансованість жирнокислотного складу жирів та олій, наявність та певне співвідношення вищих жирних кислот, які належать до есенціальних складових. Жирнокислотний склад є одною з ідентифікаційних ознак при аналізі жирів. Можливим шляхом вирішення проблеми збалансованості складу є створення купажованих олій.

Метою роботи було проведення експертної оцінки отриманого зразка купажованої олії, склад якої за співвідношенням поліненасичених кислот є наближеним до ідеального. Для купажу та вихідних олій провели аналіз їхнього жирнокислотного складу. Оцінку стабільності при зберіганні олій проводили за зміною кислотного, йодного та пероксидного чисел. Експериментально доведено, що нерафінована кукурудзяна олія є більш стійкою до дії окисників, ніж рафінована, тому для купажування було обрано нерафіновану кукурудзяну олію. Нами отриманий купаж змішуванням кукурудзяної олії (90 %) і лляної олії (10 %). В його складі співвідношення ПНЖК  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 дорівнює 1:10, що рекомендоване для здорової людини.

Результати контролю пероксидного числа купажу, а також кукурудзяної і лляної олій показало його закономірне збільшення при зберіганні. Проте реально отримані значення пероксидного числа для купажу були дещо нижчими ніж розраховані, виходячи із значень пероксидного числа окремих олій і їхнього вмісту в складі купажу. До того ж зростання пероксидного числа купажу йде значно повільніше в порівнянні зі зразком лляної олії. Тобто наявність кукурудзяної олії в складі зразка гальмує процеси утворення гідропероксидів і пероксидів. Ймовірно, це обумовлено присутністю в складі кукурудзяної олії антиоксидантів – токоферолів.

**Ключові слова:** кукурудзяна олія, лляна олія, купаж, окиснення, поліненасичені кислоти.

### **Osolina S. O., Antipina O. O. Expert assessment of blend based on corn and linseed oils**

The health of the nation is one of the main priorities of the leadership of every civilized state. To achieve this goal, it is very important to ensure adequate nutrition for the population. In particular, an important factor is the balance of the fatty acid composition of fats and oils, the presence and certain ratio of higher fatty acids, which belong to the essential components. Fatty acid composition is one of the identifying features in the analysis of fats. A possible solution to the problem of balanced composition is the creation of blended oils.

The purpose of the work was to carry out an expert assessment of the obtained blended oil sample, the composition of which is close to ideal in terms of the ratio of polyunsaturated acids. An analysis of their fatty acid composition was carried out for the blend and starting oils. The storage stability of oils was evaluated by changing the acid, iodine and peroxide numbers. It has been experimentally proven that unrefined kuku-red oil is more resistant to the action of oxidants than refined, so unrefined corn oil was chosen for blending. We obtained the blend by mixing corn oil (90 %) and linseed oil (10 %). In its composition, the  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 PUFA ratio is 1:10, which is recommended for a healthy person.

*The results of monitoring the peroxide value of the mixture, as well as corn and linseed oils, showed its natural increase during storage. However, the actually obtained values of the peroxide number for the blend were somewhat lower than those calculated, based on the values of the peroxide number of individual oils and their content in the composition of the blend. In addition, the increase in the peroxide value of the mixture is much slower compared to the linseed oil sample. That is, the presence of corn oil in the sample inhibits the formation of hydroperoxides and peroxides. This is probably due to the presence of tocopherol antioxidants in corn oil.*

**Key words:** corn oil, linseed oil, blending, oxidation, polyunsaturated acid.

Здоров'я нації – один з головних пріоритетів керівництва кожної цивілізованої держави. Для досягнення цієї мети дуже важливим є адекватне харчування, забезпечення організму людини всіма необхідними для його нормального функціонування складовими. Ліпідна складова, наряду з білковою і вуглеводною, відноситься до макронутрієнтів, проте її значенню в харчуванні не завжди приділяється належна увага. Зокрема, важливим фактором є збалансованість жирнокислотного складу жирів та олій, наявність та співвідношення вищих жирних кислот, які належать до есенціальних складових.

Ліпіди, які переважною більшістю споживачів відомі як жири, необхідні в харчуванні людини як джерело енергії та постачальники речовин, необхідних для побудови її тканин. Всі жири на 99,0–99,5 % складаються з тригліцеридів, які обумовлюють їхню високу калорійність. Однак цінність жирів не обмежується лише цим. Ще в першій половині минулого століття було висловлена думка про найбільшу цінність для організму людини есенціальних вищих жирних кислот, які ним не продукуються. Дефіцит есенціальних вищих жирних кислот може призвести до захворювань у дорослих та до затримки росту і розвитку у дітей. Підкреслюючи значення цієї групи кислот, їх навіть стали називати вітаміном F.

Обговорення цієї теми продовжується і понині. В науковій літературі йде дискусія щодо значення ліпідів в харчуванні, висловлюються різноманітні думки нутріціологів, звертається увага щодо складових ліпідів. При цьому переважно висвітлюється жирнокислотний склад тригліцеридів і його значення для нормального функціонування організму людини [1; 2; 3, с. 170–173; 4, с. 91–98; 5, с. 67–77].

Низкою іноземних вчених досліджувалося питання щодо особливостей впливу ліпідної складової харчових продуктів на розвиток порушень функціонування системи кровообігу і її гострих ускладнень, які обумовлені атеротромбозом. Доведено, що посилення ризику хвороб системи кровообігу зумовлено не стільки кількістю жиру, який вживає людина, скільки з його складом [6–9]. Останнє є визначальним фактором. Корисним вважають фізіологічну кількість насичених жирних кислот (НЖК) на рівні 8–10 % від загальної калорійності раціону, в сукупності з поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК), особливо довголанцюговими  $\omega$ -3, а також значною кількістю мононенасичених кислот (МНЖК) – до 20 % калорійності. Одночасно вміст транс-форм вищих жирних кислот має бути дуже низьким. Продукт такого складу можна використовувати в антиатерогенній дієті.

Значна доля насичених вищих жирних кислот (>10 %) від загальної калорійності харчування сприяє розвитку хвороби системи кровообігу, що зумовлена атеросклерозом. Це залежить переважно не стільки від загальної кількості спожитого жиру, скільки від одночасної наявності в складі їжі інших компонентів, зокрема холестеролу, вуглеводів – особливо простих, з високим глікемічним індексом, жирнокислотного складу ліпідної компоненти. Наявність в складі харчового жиру не тільки НЖК, а також ПНЖК і МНЖК значно знижує атерогенну дію НЖК. І навпаки, присутність транс-форм жирних кислот і високий вміст холестеролу

значно посилює негативний вплив НЖК на ризик розвитку хвороб системи кровообігу [10–11].

Найбільш важлива біологічна властивість ПНЖК – їхня участь в формуванні високоактивних біологічних комплексів як структурних елементів. Встановлено взаємозв'язок ПНЖК з обміном холестеролу – ПНЖК здатні підвищувати його виведення з організму шляхом включення в лабільні, легко розчинні форми. Таким чином попереджається і послаблюється атеросклероз. Вважають, що при відсутності або нестачі ПНЖК, холестерол утворює естери з НЖК [11–13]. Вони важко окиснюються при обміні речовин, завдяки своїй хімічній стійкості накопичуються в крові і відкладаються на стінках артерій. Навпаки, при достатній кількості есенціальних вищих жирних кислот, вони утворюють з холестеролом естери, які при обміні речовин окиснюються до низькомолекулярних речовин, що легко виводяться з організму.

У зв'язку із зазначеним, виникає необхідність підвищення вмісту ПНЖК в раціонах як фактору, що попереджає серцево-судинні і інші захворювання.

Окрім того, ПНЖК здатні підвищувати стійкість організму людини до інфекційних захворювань, оскільки вони пригнічують життєдіяльність хвороботворних мікроорганізмів. Це здійснюється шляхом проникнення цих кислот до бактеріальних клітин і витіснення з них притаманних їм бактеріальних ліпідів. Відомий також нормалізуючий вплив ПНЖК на стінки кровоносних судин – підвищується їхня еластичність, знижується проникність. Ці кислоти також беруть участь в обміні вітамінів групи В і холіну, підвищують стійкість організму до дії  $\gamma$ -радіації. Слід зауважити, що всі зазначені функції притаманні тільки цис-ізомерам ПНЖК [11].

Важливим напрямком сучасної нутріціології є створення ліпідної компоненти харчових продуктів із заданим жирнокислотним складом. Станом на сьогодні переважна більшість науковців вважає, що оптимальною в біологічному відношенні збалансованою формулою вищих жирних кислот може бути таке співвідношення: 10–20 % – ПНЖК, 30–40 % – НЖК і 50–60 % – МНЖК [1; 2]. При цьому співвідношення між  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 жирними кислотами має бути 1:10, що відповідає потребам здорової людини, а у випадках порушення ліпідного обміну – 1:5 та навіть 1:3. Але таким умовам не задовольняє склад жодної з існуючих рослинних олій, тобто «ідеального» жиру в природі не існує. Змішаний раціон пересічного українця включає переважно соняшникову олію, коров'яче масло і свиняче сало. Відповідно, згідно з їх жирнокислотним складом, співвідношення ПНЖК  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 є вельми далеким від рекомендованих норм [3, с. 170–173; 4, с. 91–98].

Реально усунути проблему дисбалансу співвідношення жирних кислот можна або вживанням дієтичних добавок до їжі, які містять ПНЖК, або створенням купажованих жирових композицій. Зокрема питання створення купажованих трикомпонентних олій, або двокомпонентних олій, як на основі тільки рослинних олій, так і з введенням жирів тваринного походження, розглянуто в роботах [14–17 та ін.]

Метою роботи було проведення експертної оцінки отриманого зразка купажованої олії на основі кукурудзяної і лляної олій з жирнокислотним складом, наближеним до оптимального.

Для роботи використовували зразки рафінованої і нерафінованої кукурудзяної олії, а також лляну нерафіновану олію.

Фізико-хімічні показники якості визначали за стандартними методиками, жирнокислотний склад жирів – методом газової хроматографії, згідно ДСТУ ISO 5508-2001 «Жири та олії тваринні і рослинні. Аналізування методом

газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот». Приготування метилових ефірів жирних кислот проводили за ISO 5509-2000, IDT; аналізували на газовому хроматографі Hewlett-Packard HP6890. Купажі отримували при ретельному перемішуванні кукурудзяної і лляної олій в масовому співвідношенні 9:1 і 8:2 при температурі 35 °С. Досліджувані зразки зберігали за умов, близьких до побутових – при доступі кисню при температурі 22–25 °С.

Рослинною олією, за рахунок якої можна підвищити вміст ПНЖК групи  $\omega$ -3 в харчуванні є лляна. Натомість при безпосередньому її використанні широким колом споживачів виникає низка проблем. По-перше, щоб задовольнити потреби організму людини в ПНЖК групи  $\omega$ -3 необхідно, щоб добова норма її споживання була меншою, ніж половина чайної ложки лляної олії, причому бажано, щоб це було не разовим споживанням, а розподіленим на декілька прийомів. Окрім того, лляна олія швидко псується у зв'язку з інтенсивним перебігом реакцій її окиснення [18], і при цьому в першу чергу окиснюються саме ПНЖК.

Встановлено, що порівняльна швидкість окиснення метилових ефірів таких вищих жирних кислот, таких як стеаринова, олеїнова, лінолева і ліноленова при 20 °С складає 1:100:1200:2500 [1]. Тобто цей процес інтенсифікується із збільшенням кількості кратних зв'язків між атомами Карбону в молекулі, і ліноленова кислота є найбільш вразливою. Пероксиди, які утворюються на першому етапі окиснення, розкладаються, і в подальшому при потраплянні до організму людини можуть утворювати гідроксикислоти, які відкладаються в тканинах організму. Пероксиди і гідрпероксиди через стадію утворення вільних радикалів перетворюються на вторинні продукти окиснення. Присутні в їхньому складі альдегіди і кетони вважають більш токсичними, ніж гідрпероксиди, перш за все за їхню дію на печінку. Продукти їхнього подальшого перетворення, в складі яких присутні органічні кислоти, продукти полімеризації та інші сполуки, можуть негативно впливати на швидкість окиснення субстратів в мітохондріях клітин, зокрема в мітохондріях серця, на утилізацію енергії АТФ, на властивості ліпідної фракції клітинних мембран [6]. Окрім з них можуть мати канцерогенний ефект.

Окисна стабільність – найважливіша характеристика жирних продуктів. У будь-якому біологічному матеріалі закладено природні механізми окисної стабільності, які залежать не тільки від фракційного складу жирнокислотних компонентів, але й наявності природних біоантиоксидантів. Зокрема в оліях присутні жиророзчинні вітаміни – група токоферолів, яким притаманні як біологічна активність, так і антиоксидантні властивості. При дослідженні порівняльної стійкості до окиснення низки олій: лляної, кукурудзяної, соєвої, соняшникової, рапсової встановлено [18], що найбільш швидко накопичує гідрпероксиди лляна олія, найменш – кукурудзяна та соєва. Вважається, що підвищена стійкість до окиснення кукурудзяної та соєвої олій визначається не лише особливостями їхнього жирнокислотного складу, але й з природно високим вмістом в них антиоксидантів [18; 19]. За цією ознакою кукурудзяна олія випереджає соняшкову, яка є найбільш популярною серед населення нашої країни. І це є вагомим фактором для обрання її для купажування з лляною олією.

Результати аналізу жирнокислотного складу досліджуваних олій наведено в таблиці 1.

Виходячи з жирнокислотного складу зразків за формулою, яка наведена в роботі [14], проведено розрахунки, які дозволили наблизитися до складу «ідеального жиру» за співвідношенням ПНЖК  $\omega$ -3/ $\omega$ -6, що дорівнює 1:10 (яке відповідає потребам здорових людей), і співвідношення ПНЖК  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 як 1:5, що відповідає

потребам людей, які мають відхиленням щодо стану здоров'я (табл. 2). При розрахунках складу купажу нами не враховувався вміст НЖК, оскільки реально в харчуванні наших співвітчизників присутня достатня кількість цієї групи вищих жирних кислот внаслідок вживання продуктів тваринного походження, зокрема, і так званих «прихованих» жирів.

Таблиця 1

**Жирнокислотний склад кукурудзяної і лляної олій**

Порядковий номер	Вища жирна кислота	Масова частка, %	
		Кукурудзяна олія	Лляна олія
1	Пальмітинова	8,3	5,5
2	Стеаринова	2,5	5,0
3	Олеїнова	31,4	22,0
4	Лінолева	57,0	17,2
5	Гамма-ліноленова	-	0,2
6	Ліноленова	0,2	49,7
7	Арахінова	0,2	0,2
8	Бегенова	0,4	0,2

Таблиця 2

**Співвідношення окремих груп вищих жирних кислот в оліях**

Зразок олії	Масова частка вищих жирних кислот, %				Масове співвідношення кислот	
	НЖК	МНЖК	ПНЖК		НЖК:МНЖК:ПНЖК	ω-3 : ω-6
			ω-3	ω-6		
Кукурудзяна	11,4	31,4	0,2	57,0	1 : 2,8 : 5	1 : 285
Лляна	10,9	22,0	49,7	17,4	1 : 2 : 6,2	2,9 : 1
Купаж: 80 % кукурудзяної + 20 % лляної олії	11,3	29,5	10,1	49,1	1 : 2,6 : 5,2	1 : 4,9
Купаж: 90 % кукурудзяної + 10 % лляної олії	11,4	28,5	5,2	53,0	1 : 2,5 : 5,1	1 : 10,2

За результатами органолептичної оцінки купажованих олій (відповідно до ДСТУ 4536:2006. Олії купажовані), яка представлена в таблиці 3, перевагу було надано зразку із вмістом 90 % кукурудзяної олії + 10 % лляної олії. У подальших дослідженнях використовували саме цей зразок.

Таблиця 3

**Органолептичні показники купажованих олій**

Показник	Кукурудзяна олія 80 % + лляна олія 20 %	Кукурудзяна олія 90 % + лляна олія 10 %
Колір	Насичений жовтий	Насичений жовтий
Прозорість	Прозора, без осаду	Прозора, без осаду
Запах і смак	Запах лляної олії, відчутний присмак гірчинки	Характерний для кукурудзяної олії з ледь помітною гірчинкою

Наразі вважають продукти окиснення олій, що утворюються при їх зберіганні, головним чинником, що визначає їхню небезпечність для здоров'я людини. Тому було проведено дослідження змін пероксидного числа (ПЧ) зразків нерафінованої і рафінованої кукурудзяної олії при зберіганні (рис. 1).

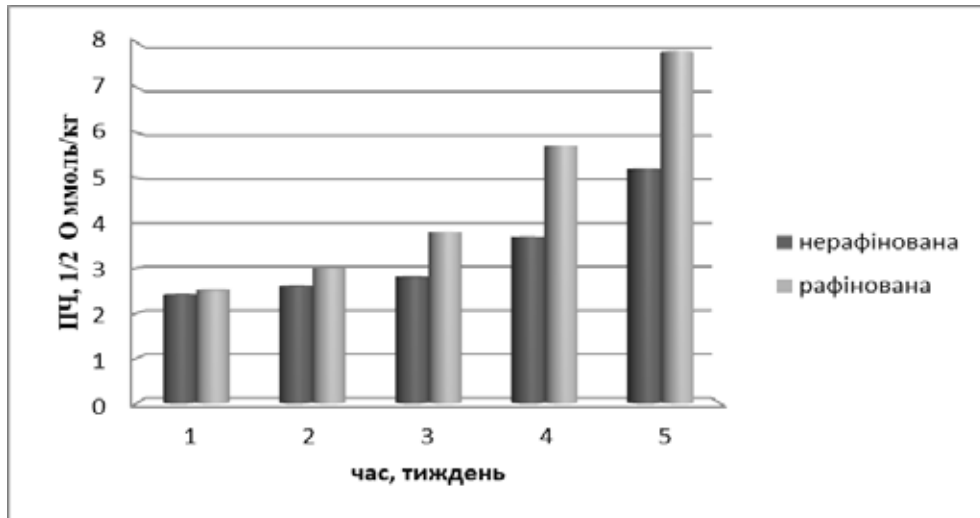


Рис. 1. Динаміка зміни ПЧ кукурудзяної олії при зберіганні

Враховуючи той факт, що антиоксидантні властивості кукурудзяної олії визначаються переважно наявністю токоферолів, які руйнуються при опроміненні, дослідні зразки зберігали без доступу світла.

Як видно з наведених результатів, підвищення ПЧ в зразку нерафінованої олії йде значно повільніше, через вісім тижнів його значення в півтора рази нижче, ніж в рафінованій, хоча вихідні значення цього показника практично не відрізнялися. Вочевидь, це є наслідком присутності більшої кількості антиоксидантів, які частково вилучаються з олії в процесі рафінації [3, с. 116–119; 19].

Спираючись на цю інформацію, вважали за доцільне використовувати для купажування з лляною олією нерафіновану кукурудзяну олію.

В процесі зберігання цього купажу визначали ПЧ, що дозволяє контролювати утворення первинних продуктів окиснення олії. Визначення величини йодного числа (ЙЧ) непрямым шляхом дозволяє оцінювати деструкцію ненасичених кислот в складі зразків. Окрім того, згідно вимог щодо контролю якості олій при зберіганні, контролювали також зміни кислотного числа (КЧ). Ці результати порівнювали зі змінами якості кукурудзяної та лляної олій – складових купажу. Отримані результати представлені в таблиці 4.

Відповідно до результатів дослідження якості олій і їхнього купажу, наведених в таблиці 4, можна констатувати закономірне збільшення КЧ і ПЧ в процесі зберігання протягом досліджуваного періоду. Обидва зразка олій – як кукурудзяна, так і лляна характеризуються високим вмістом ненасичених вищих жирних кислот, і зростання зазначених показників йде достатньо інтенсивно. Проте, в даному випадку важливим є оцінка впливу їх суміщення в складі купажу на зміну такого показника якості як ПЧ. Тому нами було розраховано теоретичне значення цього

показника, виходячи з посилання, що при суміщенні зразків олій жодного впливу на перебіг зазначених вище процесів не відбувається. Але згідно наведених результатів теоретично розраховані значення ПЧ перевершують протягом перших п'яти тижнів практично отримані результати. Тобто спостерігається позитивний вплив кукурудзяної олії, яка гальмує процес псування лляної олії шляхом її окиснення. Надалі, ймовірно, антиоксидантний потенціал кукурудзяної олії вичерпується. Проте термін придатності купажу за цим показником на декілька тижнів перевищує такий для лляної олії.

Таблиця 4

#### Зміни фізико-хімічних показників олій та купажу в процесі зберігання

Показник	Тиждень								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Кукурудзяна олія									
КЧ, мг КОН/г	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	-	-	-
ПЧ, ммоль	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,2	3,7	4,3	5,2
ммоль ½ О/кг			127,5	125,0	123,4	121,0		116,2	112,4
ЙЧ, мг І <sub>2</sub> /100 г	130,7	128,9					118,0		
Лляна олія									
КЧ, мг КОН/г	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	-	-
ПЧ, ммоль	2,6	3,6	4,7	6,0	9,3	12,6	-	-	-
½ О/кг	190,7	188,1	187,3	186,9	184,8	183,4		172,8	168,6
ЙЧ, мг І <sub>2</sub> /100 г							179,5		
Купаж									
КЧ, мг КОН/г	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	-	-
ПЧ, ммоль									
½ О/кг									
очікуване	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,1	5,4	7,2	9,4
визначене	2,4	2,5	2,6	2,8	3,4	4,2	5,4	7,2	9,4
ЙЧ, мг І <sub>2</sub> /100 г	136,7	135,9	134,4	132,0	129,9	127,2	125,4	123,1	122,0

Окрім згаданих вище показників якості олій, визначали також і їхні ЙЧ, хоча цей показник характеризує ступінь їхньої ненасиченості і не має безпосереднього відношення до процесу згіршення. Протягом часу проведення експерименту йодне число всіх досліджуваних зразків закономірно знижується, що підтверджує процес руйнації ненасичених вищих жирних кислот.

Згідно отриманих результатів слід вважати за доцільне отримання купажу, який містить 90 % кукурудзяної олії і 10 % лляної. В складі купажу міститься понад 58 % ПНЖК, при співвідношенні  $\omega$ -3/ $\omega$ -6 що дорівнює 1:10, яке рекомендоване для здорової людини. Аналіз зміни величини пероксидного числа в купажі та оліях протягом восьми тижнів свідчить, що накопичення пероксидів в купажі уповільнюється у порівнянні з лляною олією внаслідок присутності речовин з антиоксидантною властивістю, на які багата кукурудзяна олія. Купажована олія може використовуватися при приготуванні салатів та інших холодних страв, оскільки  $\omega$ -3 ПНЖК лабільні і при високих температурах руйнуються.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Смоляр В. І. Концепція ідеального жирового харчування. *Проблеми харчування*. 2006. № 4. С. 14–24.



2. Смоляр В. І. Сучасні проблеми якості харчових жирів. *Проблеми харчування*. 2008. № 3–4. С. 5–12.
3. Хімія жирів: монографія / Тютюнников Б. Н. та ін. Харків: НТУ «ХПІ», 2002. 452 с.
4. Харчова хімія: навчальний посібник / Євлаш В. В. та ін. Харків : Світ книг, 2012. 504 с.
5. Технології продуктів з модифікованим жировим складом: реалії та тенденції: монографія / Савченко О. А. та ін. Київ, 2018. 250 с.
6. Siri-Tarino P. W, Sun Q, Hu F. B, Krauss R. M. Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*. 2010. Vol. 91. P. 502–509. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26285>.
7. Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the National Heart, Lung and Blood Institute Family Heart Study / Djousse L., Pankow J. S., Eckfeldt J. H., et al. *Am J Clin Nutr*. 2001. Vol. 74. P. 612–619.
8. Mori T.A., Beilin L.J. Long-chain omega-3 fatty acids, blood lipids and cardiovascular risk reduction. *Current Opinion in Lipidology*. 2001. Vol. 12. P. 11–17.
9. Hornstra G. Influence of dietary fat type on arterial thrombosis tendency. *J Nutr Health and Ageing*. 2001. Vol. 5. P. 160–166.
10. TLR4 links innate immunity and fatty acid-induced insulin resistance / Shi H., Kokoeva M. V., Inouye K., et al. *J Clin Invest*. 2006. Vol. 116. P. 3015–3025.
11. Dzisiak D. New oils reduced saturated and trans fats in processed foods. *Cereal Foods World*. 2004. Vol. 49. № 6. P. 331–333.
12. Baer D. J., Judd J. T., Clevidence B. A., Tracy R. P. Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: a randomized crossover study. *Am J Clin Nutr*. 2004. Vol. 79. P. 969–973.
13. Muller H., Lindman A. S., Brantsaeter A. L., Pedersen J. I. The serum LDL/HDL cholesterol ratio is influenced more favorably by exchanging saturated with unsaturated fat than by reducing saturated fat in the diet of women. *J Nutr*. 2003. Vol. 133. P. 78–83.
14. Топчій О. А., Котляр Є. О. Принципи купажування рослинних олій збалансованих за жирнокислотним складом. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2015, вип. 1/6 Т. 73. С. 26–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.35997.
15. Радзівєвська І. Г., Громова О. М. Сумішеві олії для здорового харчування. *Харчова промисловість*. 2013. № 14. С. 30–33. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp\\_2013\\_14\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp_2013_14_9).
16. Матвєєва Т. В., Федякіна З. П. Купажі олій – джерело поліненасичених жирних кислот. *Наукові праці ОНАХТ*. Вип. 46. Том 2. Одеса : ОНАХТ, 2014. С. 210–213.
17. Матвєєва Т. В., Федякіна З. П., Шаповалова І. Є. Купажування олій з оптимізованим жирнокислотним складом. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2013. № 11. С. 116–120.
18. Демидова А. О. Дослідження зв'язку між кінетикою окиснення та погіршенням сенсорних характеристик рослинних олій. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 4. С. 89–98. DOI: 10.31521/2313-092X/2021-4(112)-9.
19. Пешук Л. В., Радзівєвська І. Г. Дослідження впливу рослинних олій на стійкість свинячого жиру. *Продукти & інгредієнти*. 2009. № 1 (54). С. 28–30.

#### REFERENCES:

1. Smolyar, V. I. (2006). Kontseptsiya ideal'noho zhirovoho kharchuvannya. *Problemi kharchuvannya*, 4, 14–24.
2. Smolyar V. I. (2008). Suchasni problemi yakosti kharchovikh zhiriv. *Problemi kharchuvannya*, 3–4, 5–12.
3. Tyutyunnikov, B. N. (2002). *Khimiya zhiriv*. Kharkiv: NTU “KhPI”.
4. Yelash, V. V. (2012). *Kharchova khimiya*. Kharkiv: Svit knih.
5. Savchenko, O. A. (2018). *Tekhnolohiyi produktiv z modifikovanim zhirovim skladom: realiyi ta tendentsiyi*. Kyiv.

6. Siri-Tarino P. W., Sun Q., Hu F. B., & Krauss R. M. (2010). Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr.*, 91, 502–509.
  7. Djousse, L., Pankow, J. S., & Eckfeldt, J. H. (2001). Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the National Heart, Lung and Blood Institute Family Heart Study. *Am J Clin Nutr.*, 74, 612–619.
  8. Mori, T. A., & Beilin, L. J. (2001). Long-chain omega-3 fatty acids, blood lipids and cardiovascular risk reduction. *Current Opinion in Lipidology*, 12, 11–17.
  9. Hornstra G. (2001). Influence of dietary fat type on arterial thrombosis tendency. *J Nutr Health and Ageing*, 5, 160–166.
  10. Shi, H., Kokoeva, M.V., & Inouye, K. (2006). TLR4 links innate immunity and fatty acid-induced insulin resistance. *J Clin Invest*, 116, 3015–3025.
  11. Dzisiak D. (2004). New oils reduced saturated and trans fats in processed foods. *Cereal Foods World*, 49(6), P. 331–333.
  12. Baer D. J., Judd J. T., Clevidence B. A., & Tracy R. P. (2004). Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: a randomized crossover study. *Am J Clin Nutr.*, 79, 969–973.
  13. Muller H., Lindman A. S., Brantsaeter A. L., & Pedersen J. I. (2003). The serum LDL/HDL cholesterol ratio is influenced more favorably by exchanging saturated with unsaturated fat than by reducing saturated fat in the diet of women. *J Nutr.*, 133, 78–83.
  14. Topchiy O. A., & Kotlyar Ye. O. (2015). Printsipi kupazhuvannya roslinnikh oliy zbalansovanikh za zhirnokislotnim skladom. *Skhidno-yevropeys'kiy zhurnal peredovikh tekhnolohiy*, 1/6 (73), 26–32. doi: 10.15587/1729-4061.2015.35997.
  15. Radziyevs'ka, I. H., & Hromova, O. M. (2013). Sumishevi oliyi dlya zdorovoho kharchuvannya. *Kharchova promislovist*, 14, 30–33. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp\\_2013\\_14\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp_2013_14_9).
  16. Matvyeyeva T. V., & Fedyakina Z. P. (2014) Kupazhi oliy – dzherelo polinenasichenikh zhirnikh kislot. *Naukovi pratsi ONAKhT*, 46(2), 210–213.
  17. Matvyeyeva T. V., Fedyakina Z. P., & Shapovalova I. Ye. (2013). Kupazhuvannya oliy z optimizovanim zhirnokislotnim skladom. *Visnik NTU "KhPI"*, 11, 116–120.
  18. Demidova A. O. (2021). Doslidzhennya zv'yazku mizh kinetikoyu okisnennya ta pohirshennyam sensornikh kharakteristik roslinnikh oliy. *Visnik ahrarnoyi nauki Prichornomor'ya*, 4, 89-98. doi: 10.31521/2313-092X/2021-4(112)-9.
  19. Peshuk L. V., & Radziyevs'ka I. H. (2009). Doslidzhennya vplivu roslinnikh oliy na stiykist' svinyachoho zhiru. *Produkty & inhredyenty*, 1(54), 28–30.
-

УДК 665.224.9

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.24>

## ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ МАСЛЯНО-ПРЯНИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ СТРАУСИНОГО ЖИРУ

**Очеретна А. В.** – аспірант

Національного університету харчових технологій

ORCID ID: 0000-0001-9698-091X

**Фролова Н. Е.** – доктор технічних наук,

професорка кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції

Національного університету харчових технологій

ORCID ID: 0000-0001-9661-1540

Одним із ключових напрямків роботи є створення продукту, збалансованого за жирнокислотним складом та збагаченого біологічно активними речовинами, які проявляють одночасно антиоксидантну та антибіотичну властивість, приємним за смако-ароматичними властивостями та з подовженим терміном зберігання.

Досліджено жирно-кислотний склад страусинового жиру хроматографічним методом.

Встановлено, що страусиний жир містить жирні кислоти, зокрема олеїнової – ( $39,2 \pm 0,4$ ) %; лінолевої – ( $15,6 \pm 0,2$ ) %; ліноленової – ( $0,6 \pm 0,1$ ) %, пальмітиноолеїнової – ( $8,3 \pm 0,2$ ) %; елайдинової ( $0,4 \pm 0,1$ ) %, сумарний вміст ненасичених жирних кислот ( $64,1 \pm 2,0$ ) %, відповідно сумарний вміст насичених кислот складає ( $35,8 \pm 1,5$ ) %: пальмітинової ( $30,1 \pm 1,5$ ) %; стеаринової – ( $5,76 \pm 0,2$ ) %, що є наближеним до формули ідеального жиру. Страусиний жир має приємний смак та запах, забезпечує високу загальну розчинність ліпофільних БАР в способі анфлеражу – екстракції композиції прянощів.

Експериментально підтверджено показники якості страусинового жиру.

Досліджено хімічний склад прянощів, а саме вміст каротиноїдів, ефірних олій та поліфенольних сполук. Встановлено, що із зразків обраних прянощів найбільша кількість ефірної олії міститься у насінні гвоздики – ( $18,1 \pm 0,038$ ) %; вміст каротиноїдів найвищий у насінні бадьяну – ( $1,8 \pm 0,009$ ) %; вміст поліфенольних сполук найвищий у насінні гвоздики – ( $6,32 \pm 0,16$ ) %.

Обрано композицію прянощів до складу якої входить ( $50 \pm 0,5$ ) % насіння гвоздики та насіння бадьяну ( $50 \pm 0,5$ ) %. Композиція містить поліфенольні сполуки ( $6,12 \pm 0,06$ ) %, ефірну олію ( $10,8 \pm 0,08$ ) %, каротиноїди ( $2,9 \pm 0,01$ ) %, інші жиророзчинні вітаміни, які проявляють одночасно антиоксидантну та антибіотичну активність.

Для отримання масляно-пряної суміші розроблено спосіб анфлеражу.

Встановлено раціональні умови проведення анфлеражу, зокрема етапи анфлеражу, тривалість екстрагування ароматичних речовин, співвідношення страусинового жиру і композиції прянощів. З'ясовано співвідношення страусинового жиру та композиції прянощів – 10:1, з двоетапним екстрагуванням тривалістю 12 год кожний забезпечує високий вихід смакоароматичних складових композиції прянощів, масляно-пряна суміш має приємний смак та аромат гармонійного поєднання прянощів.

Виготовлена масляно-пряна суміш на основі страусинового жиру завдяки унікальному співвідношенню жирних кислот має великі перспективи використання у харчовій промисловості, зокрема у закладах ресторанного господарства при виготовленні кондитерських виробів, у дієтичному харчуванні.

**Ключові слова:** страусиний жир, прянощі, помадка, композиція, анфлераж, екстрагування.

**Ocheretna A. V., Frolova N. E. Technology of obtaining oil-spice mixtures based on ostrich fat**

One of the key areas of work is the creation of a product with a balanced fatty acid composition and enriched with biologically active substances that exhibit antioxidant and antibiotic properties at the same time, with a pleasant taste and aromatic properties and with an extended shelf life.

The fatty acid composition of ostrich fat was studied by the chromatographic method.

It was established that ostrich fat contains fatty acids, in particular oleic – ( $39.2 \pm 0.4$ ) %; linoleic – ( $15.6 \pm 0.2$ ) %; linolenic – ( $0.6 \pm 0.1$ ) %, palmitoleic – ( $8.3 \pm 0.2$ ) %; elaidic ( $0.4 \pm 0.1$ ) %, the total content of unsaturated fatty acids ( $64.1 \pm 2.0$ ) %, respectively, the total

content of saturated acids is  $(35.8 \pm 1.5) \%$ ; palmitic  $(30.1 \pm 1.5) \%$ ; stearic –  $(5.76 \pm 0.2) \%$ , which is close to the ideal fat formula. Ostrich fat has a pleasant taste and smell, provides a high total solubility of lipophilic BARs in the enfleurage method – extraction of the composition of spices.

*The quality indicators of ostrich fat have been experimentally confirmed.*

*The chemical composition of spices was studied, namely the content of carotenoids, essential oils and polyphenolic compounds. It was found that among the samples of the selected spices, the largest amount of essential oil is contained in clove seeds –  $(18.1 \pm 0.038) \%$ ; the content of carotenoids is the highest in star anise seeds –  $(1.8 \pm 0.009) \%$ ; the content of polyphenolic compounds is the highest in clove seeds –  $(6.32 \pm 0.16) \%$ .*

*A composition of spices was chosen, which includes  $(50 \pm 0.5) \%$  clove seeds and  $(50 \pm 0.5) \%$  star anise seeds. The composition contains polyphenolic compounds  $(6.12 \pm 0.06) \%$ , essential oil  $(10.8 \pm 0.08) \%$ , carotenoids  $(2.9 \pm 0.01) \%$ , other fat-soluble vitamins, which exhibit both antioxidant and antibiotic properties activity.*

*An enfleurage method has been developed to obtain an oil-spice mixture.*

*Rational conditions for enfleurage were established, in particular the stages of enfleurage, the duration of extraction of aromatic substances, the ratio of ostrich fat and the composition of spices. The ratio of ostrich fat and the composition of spices was found to be 10:1, with a two-stage extraction lasting 12 hours, each of which provides a high yield of the taste-aromatic components of the composition of spices, the oil-spice mixture has a pleasant taste and aroma of a harmonious combination of spices.*

*Due to the unique ratio of fatty acids, the prepared oil-spice mixture based on ostrich fat has great prospects for use in the food industry, in particular in restaurants, in the production of confectionery products, in dietary nutrition.*

**Key words:** ostrich fat, spices, fudge, composition, enfleurage, extraction.

**Постановка проблеми.** В Україні останнім часом велика увага приділяється здоровому способу життя і правильному харчуванню.

Багато досліджень вказують на те, що неправильне харчування є одним із факторів розвитку хронічних захворювань. Приблизно третю частину від загального раціону людини складають жири. За рекомендаціями американської Національної академії наук вміст жирів і олій в щоденному раціоні людини повинен складати 30 % загальної калорійності [1, с. 11] при цьому кількість насичених жирів в залежності від фізичної активності людини повинна складати 6-10 % загальної калорійності раціону.

Вченими встановлено, що заміна насичених жирних кислот на жири, багаті омега-3, 9 жирними кислотами, безперечно знижує ризик виникнення серцево-судинних захворювань [2, с. 14–19].

Результати досліджень [3, с. 109–119], показують, що заміна маргарину страусиним жиром у виробництві бісквітів покращила сенсорні характеристики випеченого торта.

Страусиний жир – єдиний з усіх тваринних жирів є наближеним до ідеальної формули жирів, збалансованість жирнокислотного складу у якій складає 65 %×35 % ненасичених та насичених кислот, відповідно, якщо порівняти із жирнокислотним складом інших топлених тваринних жирів [4 с. 199–208].

Жири-це основне джерело енергії для організму людини. Вони відіграють важливу роль в формуванні смаку, запаху, структури і якості харчових продуктів, забезпечують відчуття ситості. Багато жирів можуть додаватися в продукцію під час виробництва, входити до складу самого харчового продукту.

Головним критерієм вибору жиру є його біологічна цінність, яка першочергово оцінюється за співвідношенням жирних кислот – НЖК, МНЖК, ПНЖК та жиророзчинними вітамінами, які доповнюють його корисні властивості.

Попередні дослідження науковців свідчать про те, що до складу жиру входить досить велика кількість ненасичених жирних кислот [5, с. 38–42]. Оскільки, до складу страусиною жиру входять ненасичені жирні кислоти, то такий жир може підлягати окисненню швидше, ніж інші продукти. Тому такі зразки можуть становити потенційну загрозу як джерело надходження продуктів окиснення жирів в організм людини. Дослідження процесів окиснення має велике значення для визначення шляхів їх усунення. Результати досліджень показують, що розроблення рецептури продуктів на основі купажу страусиною жиру і високолейнової соняшникової олії для фритюрного жиру, показало окислювальну стійкість продукту [6, с. 199–208].

Одним із ключових напрямків роботи є створення продукту, збалансованого за жирнокислотним складом та збагаченого біологічно активними речовинами, які проявляють одночасно антиоксидантну та антибіотичну властивість, приємним за смако-ароматичними властивостями та з подовженим терміном зберігання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Грунтовні дослідження цінності та переваги страусиною жиру над іншими тваринними жирами вивчається вітчизняними і зарубіжними вченими Л.В. Пешук, І.Г. Радзівська, І.І. Штик, А. Basuny, S. Arafat, Н. Soliman, Р. Frapple, М. Brown, А. Craig-Schmidt and Р. Smith [7–9].

Використання страусиною жиру в харчових продуктах вивчається зарубіжними вченими М. Amany, А. Basuny; Shaker, М. Arafat і L. Shereen, L. Nasef [3, с. 70–72].

Увагу заслуговує аналіз останніх досліджень і публікацій щодо інтенсифікація процесу екстрагування активних компонентів (БАР) з природної сировини.

На протязі десятиліть для вилучення (БАР) з природної сировини застосовувалися класичні екстракційні методи, такі як мацерація, анфлераж, перколяція, реперколяція, безперервне протиточне екстрагування з переміщенням сировини і розчинника, апарати Сокслета та інші. Перевагою цих методів є простота обладнання і експлуатації. Поряд зі згаданими вище традиційними методами на сьогодні з метою скорочення тривалості процесу, зменшення витрати екстрагента та підвищення якості кінцевого продукту в нашій країні та за кордоном набувають поширення інноваційні методи екстрагування, включаючи ультразвукову та мікрохвильову екстракцію [10, с. 813–835], екстрагування в перегрітій рідині під високим тиском [11, с. 211–219], та інші, які наведені у великій кількості наукових публікацій. Грунтовний огляд сучасних інноваційних методів екстрагування міститься в роботі [12].

**Виклад основного матеріалу.** Зразок обраного страусиною жиру досліджували на відповідність вимогам нормативним документам- ГОСТ 25292-82 Жири тваринні топлени харчові. Технічні умови. Результати наведені в табл. 1 та табл. 2.

Згідно проведених досліджень показники відповідають нормативним вимогам, консистенція та зовнішній вигляд страусиною жиру є щільною, гомогенною за температури ( $8 \pm 2$  °С), при кімнатній температурі (18...20 °С) стає рідкою, у розтопленому стані – прозорою, без осаду. Фізико-хімічні показники страусиною жиру наведені в табл. 2.

Таблиця 1

**Органолептичні показники страусиноного жиру**

Показники	Дослідні дані
Консистенція та зовнішній вигляд	Щільна, гомогенна текстура
Смак і запах	чистий, слабо виражений, характерний для витопленого тваринного жиру
колір	Білий, однорідний відтінок

Таблиця 2

**Фізико-хімічні показники страусиноного жиру**

Показники	Дослідні дані
Кислотне число, мг КОН/г	0,1 ± 0,024
Пероксидне число, ½ O ммоль/кг	0,9 ± 0,024
Йодне число, % I <sub>2</sub>	75 ± 0,024
Число омилення, мг КОН	184 ± 0,024
Масова частка вологи, %	0,30 ± 0,024
Густина(36 °С), г/см <sup>3</sup>	0,92 ± 0,024
Температура плавлення, °С	36 ± 0,024

Результати показали, що кислотне число страусиноного жиру складає 0,1 мг КОН/г, що свідчить про низький вміст кислот у жирі, що робить його більш стійким до окислення. Пероксидне число страусиноного жиру складає 0,9 ммоль/кг, що також є нормальним значенням. Це свідчить про те, що жир не був підданий інтенсивному окисленню. У разі страусиноного жиру, йодне число складає 75 г I<sub>2</sub> на 100 г жиру, що є досить високим показником. Це свідчить про те, що страусиний жир містить більше ненасичених жирних кислот, що робить його більш корисним для здоров'я людини. Число омилення – це кількість міліграмів калію гідроксиду, якого необхідно для повного омилення 1 г жиру. Чим вище число омилення, тим більше ненасичених жирних кислот міститься в жирі. У разі страусиноного жиру, число омилення складає 184,00, що дійсно є вищим, ніж у більшості інших жирів. Це свідчить про те, що страусиний жир містить більше ненасичених жирних кислот, що зазвичай пов'язано з корисними властивостями для здоров'я, такими як зниження рівня холестерину в крові та поліпшення кардіоваскулярного здоров'я. Також високе число омилення страусиноного жиру підтверджує високу якість та стабільність жиру, що робить його привабливим для використання в харчовій промисловості.

Крім того, фізико-хімічні властивості страусиноного жиру включають його точку плавлення, що зазвичай коливається в межах від 32 до 40 градусів за Цельсієм. Також, жир може мати високу твердість при низьких температурах, але в той же час зберігати м'якість та текучість при кімнатній температурі.

Зразок страусиноного жиру аналізували на вміст жирних кислот методом газорідинної хроматографії на газовому хроматографі Хроматек-Кристал 5000 із полум'яно-іонізаційним детектором, інжектор S/S з діленням потоків, з використанням колонки HP-88 100 m×0.25 mm×0.20 μm. Умови хроматографування: температура інжектора 240°C, ділення потоку 100:1, температура детектора 230 °С. Колонка працює у режимі постійного потоку швидкістю 1,2 мл/хв, газ-носії гелій. Результати проведених досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3

## Вміст жирних кислот в страусиному жирі

№ п/п	Жирні кислоти	Вміст, %
1	C16:0 Пальмітинова кислота	30,1
2	C16:1 Пальмітиноолеїнова	8,3
3	C18:0 Стеаринова	5,76
4	C18:1 Елайдинова	0,4
5	C18:1 Олеїнова	39,2
6	C18:2 Лінолева	15,6
7	C18:3 Ліноленова	0,64
8	C20:1 (цис-11) Ейкозанова	1,851

Одержані нами дані свідчать, що у дослідному зразку страусиного жиру кількісно визначено та ідентифіковано 8 компонентів. Виявлено, що олеїнова кислота є домінуючою ненасиченою жирною кислотою, що становить  $(39,2 \pm 0,4) \%$ ; пальмітинова кислота виявилася домінуючою насиченою жирною кислотою  $(30,1 \pm 0,4) \%$ .

На підставі цих досліджень можна зробити висновок, що страусиний жир має добру якість та біологічну цінність і може використовуватись при приготуванні страв та виробництві харчових продуктів.

Зразки обраних прянощів, а саме насіння бадьяну, насіння гвоздики та насіння коріандру досліджували на вміст каротиноїдів, ефірних олій та поліфенольних сполук.

Результати визначення вмісту поліфенольних сполук, каротиноїдів, ефірної олії у зразках прянощів наведено в табл. 4.

Таблиця 4

## Вміст БАР, % зразків прянощів

Прянощі	Поліфенольні сполуки	Каротиноїди	Ефірна олія
Насіння гвоздики	$6,32 \pm 0,16$	$1,5 \pm 0,018$	$18,1 \pm 0,038$
Насіння коріандру	$1,8 \pm 0,13$	$0,8 \pm 0,023$	$1,6 \pm 0,035$
Бадьян	$5,92 \pm 0,29$	$1,8 \pm 0,009$	$3,5 \pm 0,175$

Із зразків обраних прянощів найбільша кількість ефірної олії міститься у насінні гвоздики, що складає  $18,1 \%$ , вміст каротиноїдів найвищий у бадьяну, що складає  $1,8 \%$ , а найменший у насінні коріандру –  $0,8 \%$  відповідно.

Науковий пошук проводили за участі модельних композицій (МК), які створювалися відповідно до поставлених завдань. До складу МК входило три прянощі – насіння бадьяну, насіння гвоздики, насіння коріандру у зразках різних комбінаціях.

Для обрання остаточного варіанту композиції прянощів для масляно-пряної суміші на основі страусиного жиру використовували визначений експериментально вміст БАР в складі обраних пряностей. Відповідно завданню проводили математичні розрахунки за формулами матеріального балансу з визначенням кількості поліфенолів, каротиноїдів та ефірних олій в запропонованих модельних композиціях (МК). Зокрема:

МК № 1 –  $25 \%$  бадьяну,  $50 \%$  насіння гвоздики,  $25 \%$  насіння коріандру (1:2:1);

МК № 2 –  $25 \%$  бадьяну,  $25 \%$  насіння гвоздики,  $50 \%$  насіння коріандру (1:1:2);

МК № 3 – 50 % бадьяну, 25 % насіння гвоздики, 25 % насіння коріандру (2:1:1).

МК № 4 – 50 % бадьяну, 50 % насіння гвоздики (1:1)

Розрахунок вмісту БАР в МК № 1

$\Sigma$ поліфенолів=  $((5,92*25\%)+(6,32*50\%)+(1,8*25\%))/100\%=5,09\%$

$\Sigma$ ефірних олій=  $((3,5*25\%)+(18,1*50\%)+(1,6*25\%))/100\%=10,32\%$

$\Sigma$ каротиноїдів=  $((1,8*25\%)+(1,5*50\%)+(0,8*25\%))/100\%=2,65\%$

Розрахунки вмісту БАР в МК № 2, 3, 4 здійснювали за складеною схемою комп'ютерних розрахунків. Зразки купажу прянощів наведено у відсоткових співвідношеннях в табл. 5.

Таблиця 5

## Зразки купажу прянощів

Назва прянощів	Номера зразків купажу			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Насіння гвоздики	50	25	25	50
Насіння коріандру	25	50	25	-
Бадьян	25	25	50	50

В кожному зразку за матбалансом визначали сумарний вміст БАР, зокрема  $\Sigma$  поліфенолів,  $\Sigma$  каротиноїдів та  $\Sigma$  ефірних олій (табл. 6).

Таблиця 6

## Сумарний вміст БАР за різними комбінаціями прянощів

Вміст БАР, %	Зразки комбінацій			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
$\Sigma$ поліфенолів	5,09	3,96	4,99	6,2
$\Sigma$ ефірної олії	10,32	6,2	6,67	10,8
$\Sigma$ каротиноїдів	2,65	1,85	1,06	2,9

Композиції прянощів показали, що за вмістом поліфенольних сполук зразок 1 і зразок 4 містять найбільшу кількість – 5,09 % і 6,2 % відповідно. Найбільший вміст ефірної олії знаходиться у зразку 4 і 1, і найменший вміст відповідно у зразку 2, за вмістом каротиноїдів найбільший вміст відзначено у зразку 4, а найменший відповідно у зразку 3. Обрано зразок композиції прянощів № 4 із найбільш приємним ароматом до складу якого входить –  $(50 \pm 0,5)\%$  насіння бадьяну та  $(50 \pm 0,5)\%$  насіння гвоздики. Обрана композиція прянощів має в складі ефірну олію, поліфенольні сполуки, жиророзчинні вітаміни, які проявляють одночасно антиоксидантну та антибіотичну активність.

Розроблення технології масляно-пряної суміші з натурального жиру тваринного походження – страусиною жиру. Купаж прянощів => бадьян : гвоздика 1:1.

Використано метод анфлеражу, який полягає в тому, що ароматичні олії, які випаровуються із прянощів поглинаються чистим і без запаху страусиним жиром нанесеним на скло дерев'яної рамки.

Досліджували технологічні параметри анфлеражу:

- етапи завантаження композиції прянощів;
- тривалість екстрагування ароматичних речовин;
- співвідношенню страусиною жиру і композиції прянощів.



Анфлераж проводимо двічі, тривалістю (т, год) 12; 12. Одноразовий 24 год. На 100 г страусинового жиру брали 2, 5, 6, 8, 10 г композиції прянощів. Температура природна. Отриману масляно-пряну суміш (ароматну помадку) оцінювали описовим методом за участі дегустаційної комісії (табл. 7).

Таблиця 7

**Сумарний вміст БАР за різними комбінаціями прянощів**

Кількість прянощів, г/100г страусинового жиру	Етапи анфлеражу	Описова органолептична оцінка
4	2	Консистенція однорідна, смак і аромат прянощів ледь відчутний
5	2	Консистенція однорідна, м'який пряний смак і тонкий аромат гармонійного поєднання прянощів
6	2	
8	2	
10	2	Консистенція однорідна, приємний терпкий смак, привабливий аромат гармонійного поєднання прянощів
10	1	Консистенція однорідна, смак терпкий, пекучий, аромат насичений, гармонійного поєднання прянощів

Обране співвідношення жиру страусинового: прянощі – 10:1, дворазовий анфлераж. Процес контролювався за кількістю ефірної олії в залишковому шроті табл. 8.

Таблиця 8

**Залишковий вміст ефірної олії у шроті після анфлеражу за тривалістю екстрагування**

Зразок	т, год	Вміст ефірної олії, %	
		на початку процесу	у шроті
10 г Σ прянощів на 100 г страусинового жиру	Одноразовий => 24	10,8 ± 0,038	0,052 ± 0,003
	Дворазовий		0,091 ± 0,002
	1 етап => 12		
	2 етап => 12		

Отже, досліджуючи вплив різних варіантів співвідношення страусиний жир: композиції прянощі з'ясовано, що зразок 1:10, з двоетапним екстрагуванням тривалістю 12 год кожний забезпечує високий вихід смакоароматичних складових композиції прянощів, масляно-пряна суміш має приємний смак та аромат гармонійного поєднання прянощів.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено, що страусиний жир має найвищу біологічну цінність, оскільки склад жирних кислот наближений до формули ідеального жиру.

Досліджено хімічний склад прянощів. Обрано композицію прянощів до складу якої входить (50 ± 0,5) % насіння гвоздики та насіння бадьяну (50 ± 0,5) %. Композиція містить поліфенольні сполуки (6,12 ± 0,06) %, ефірну олію (10,8 ± 0,08) %,

каротиноїди ( $2,9 \pm 0,01$ ) %, інші жиророзчинні вітаміни, які проявляють одночасно антиоксидантну та антибіотичну активність.

Розроблено технології масляно-пряної суміші з натурального жиру тваринного походження – страусинового жиру. Купаж прянощів => бадьян : гвоздика 1:1. Розроблені умови анфлеражу прянощів страусиним жиром зумовлюють проведення екстрагування з достатнім рівнем вилучення терпеноїдів та інших жиророзчинних речовин прянощів, інтенсифікацію процесу із зниженням процесів окислення, збереженням хімічного складу та органолептичних властивостей масляно-пряної суміші.

Отримана масляно-пряна суміш (ароматна помадка) способом анфлеражу може використовуватися у виробництві борошняно-кондитерських виробів та в дієтичному харчуванні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Радзівська І.Г. Розробка технології купажованих тваринно-рослинних жирів підвищеної харчової цінності. *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.* Харків : НТУ «ХПІ». 2010.
2. Зайцева Л. В., Нечаєв А. П. Поліненасичені жирні кислоти в харчуванні: сучасний погляд. *Харчова промисловість.* 2014. № 4. С. 14–19.
3. Amany M. M. Basuny, Shaker M. Arafat, Hanaa M. Soliman Egypt. *J. Chem. Biological Evaluation of Ostrich Oil and Its Using for Production of Biscuit.* 2017. Vol. 60. № 6. P. 109–199.
4. Chris P., Slates C. Uses and benefits of emu oil. *Nutrition & Food Science.* 1999. P. 38–42.
5. Margret C. Uses and benefits of emu oil. *Nutrition and Food Science.* 2003. P. 3842.
6. Amany M. M. Basuny; Shaker, M. Arafat and Shereen, L. Nasef. Utilization of ostrich oil in foods. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics.* 2011. Vol. 2. № 8. P. 199–208.
7. Пешук Л. В., Радзівська І. Г., Штик І. І. Жири у складі сучасних функціональних м'ясних продуктів. *Наукові праці на Університет з охоронної технології «Зберігаюча наука, техніка та технології».* 2012. Том IX. С. 349–354.
8. Basuny A., Arafat S., Soliman H. et. al. Biological Evaluation of Ostrich Oil and Its Using for Production of Biscuit. *The Egyptian Journal of Chemistry.* 2017. Vol. 60. № 6. P. 1091–1099.
9. Frontczak M, Krysztofiak K, Bilaska A, Uchman W. Characteristics of fat from african ostrich *Struthio Camelus.* *Food Science and Technology.* 2008. № 11. P. 420–428.
10. Chemat F., Khan, M.K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem.* 2011. № 18. P. 813–835.
11. Benthin, B, Danz, H, Hamburger, M. Pressurized liquid extraction of medicinal plants. *J Chromatogr. A.*, 1999. № 837(1/2). P. 211–219.
12. Roctagno M., Prado J. Natural product extraction. Principles and applications. Cambridge, UK : Royal Society of Chemistry, 2013.

### REFERENCES:

1. Radievska I.H. (2010) Development of the technology of blended animal and vegetable fats of increased nutritional value. Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific papers. Thematic issue: New solutions in modern technologies. Kharkiv: NTU "KhPI" [in Ukrainian].
2. Zaitseva, L. V., Nechaev, A. P. (2014). Polyunsaturated fatty acids in nutrition: a modern view. *Food industry*, Vol. 4, pp. 14–19 [in Ukrainian].

3. Amany, M. M., Basuny1, Shaker, M., Arafat, Hanaa M., Soliman, Egypt. *J. Chem.* (2017). *Biological Evaluation of Ostrich Oil and Its Using for Production of Biscuit*, 6, pp. 109–199.
  4. Chris, P. and Slates, C. (1999): Uses and benefits of emu oil. *Nutrition & Food Science*, pp. 38–42.
  5. Margret, C. (2003). *Uses and benefits of emu oil Nutrition and Food Science*, pp. 38–42.
  6. Amany, M. M. Basuny1, Shaker, M. Arafat, Shereen, L. Nasef. (2011). Utilization of ostrich oil in foods. *International Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics*, Vol. 2(8), pp. 199–208.
  7. Peshuk, L. V., Radzievska, I. G., Bayonet, I. I. (2012). Fats in the composition of modern functional meat products. *Scientific works of the University "Preservation of science, technology and technologies"*, Vol. 9, pp. 349–354 [in Ukrainian].
  8. Basuny A., Arafat S., Soliman H. et. al. (2017). Soliman Biological Evaluation of Ostrich Oil and Its Using for Production of Biscuit. *The Egyptian Journal of Chemistry*, Vol. 60 (6), pp. 1091–1099.
  9. Frontczak M, Kryzstofiak K, Bilska A, Uchman W(2008): Characteristics of fat from african ostrich *Struthio Camelus*. *Food Science and Technology*, 11, pp. 420– 428.
  10. Chemat, F., Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem*, 18, pp. 813–835.
  11. Benthin, B, Danz, H, Hamburger, M. (1999). Pressurized liquid extraction of medicinal plants. *Chromatogr. A.*, 837(1/2), pp. 211–219.
  12. Roctagno, M.and Prado, J. (Ed.). (2013). *Natural product extraction: Principles and applications*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
-

УДК 663.223.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.25>

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВИРОБНИЦТВА ВИН СТИЛЮ AMBER WINE В УМОВАХ ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ

**Ходаков О. Л.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-6564-2552  
Researcher ID: AAN-8307-2020

**Саркісян Г. О.** – доктор економічних наук,  
доцент кафедри туризму  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-7362-3637

**Сугаченко Т. С.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-0309-4578

**Мельник І. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-0729-2056

**Мірошниченко О. М.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-7376-8008

**Тараненко О. Г.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-2148-9453

**Ткаченко Л. О.** – старший викладач кафедри технології вина  
та сенсорного аналізу  
Одеського національного технологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-2607-0384

*Аналіз сучасних наукових напрямів робіт вчених у галузі виноробства свідчить про досить високий інтерес професіоналів та поціновувачів вина всього світу до вин з білих сортів винограду, технологія яких передбачає контакт із мезгою. У зв'язку з цим у статті зроблено короткий огляд наукових праць, спрямованих на вдосконалення технології вин з білих сортів винограду з використанням різних режимів мацерації мезги. Енологи зі Сполучених Штатів Америки, Італії, Хорватії та інших країн приділяють велику увагу впливу режиму мацерації мезги білого винограду на фізико-хімічний склад, ароматику та якість готових вин. Застосування різних технологічних параметрів ведення процесу мацерації білого мезги дозволяють отримувати вина різного типу – від типових білих столових вин*

з виразним сортовим ароматом до повних, насичених у букеті та екстрактивних у смаку буриштинових вин. Висока історична та фізіологічна цінність *amber wine* сприяють розширенню географії вин цього типу. У статті проведено аналіз фізико-хімічного складу та органолептичних характеристик вин типу *amber wine*, які були приготовлені в умовах мікро-виноробства на базі дослідної лабораторії кафедри вина та сенсорного аналізу Одеського національного технологічного університету із сорту Ркацителі. Експеримент передбачав два блоки досліджень. У першому випадку виноград зазнавав дроблення, помірної сульфитації, після чого проводили мацерацію мезги протягом двох, п'яти, десяти, двадцяти та тридцяти діб. Далі мезгу направляли на пресування, а молоді виноматеріали – на залишкове бродиння та освітлення. У другому випадку отримані молоді виноматеріали після освітлення піддавалися додатковій мацерації на віджатий меззі попередньо зів'ялого винограду Ркацителі протягом 10 діб. В якості еталону використали *amber wine* Ркацителі, який був отриманий за класичною кахетинською технологією у кверві на виноробні Георгія Берікашвілі, Гуржанський район, мікрозона Вачнадзіанкарі, Кахеті. На підставі порівняльної оцінки досвідчених янтарних вин з еталонним зразком зроблено висновки про вплив теруару на стиль вина типу *amber wine*. Показано, що технологічний режим мацерації значною мірою визначає фізико-хімічний склад, типовість та якість *amber wine*. Встановлено оптимальні технологічні параметри, що дозволяють готувати типові вина типу *amber wine* із винограду Ркацителі в умовах Одеського регіону.

**Ключові слова:** технологія, *amber wine*, мацерація мезги, вино, якість.

**Khodakov O. L., Sarkisian G. O., Suhachenko T. S., Melnyk I. V., Miroshnychenko O. M., Taranenko O. G., Tkachenko L. O. Improvement of technological modes of amber wine's production at the Odessa region's conditions**

The analysis of modern scientific directions of the work of scientists in the field of winemaking shows a rather high interest of professionals and wine connoisseurs all over the world in wines made from white grape varieties, the technology of which involves contact with the pulp. In this regard, the article provides a brief review of scientific works aimed at improving the technology of wines from white grape varieties using different modes of pulp maceration. Enologists from the United States of America, Italy, Croatia and other countries pay great attention to the influence of the maceration mode of white grape pulp on the physical and chemical composition, aroma and quality of finished wines. The use of various technological parameters of the maceration process of white pulp allows to obtain different types of wines – from typical white table wines with a distinct varietal aroma to full, rich in bouquet and extractive in taste amber wines. The high historical and physiological value of amber wine contributes to the expansion of the geography of this type of wine. The article analyzes the physico-chemical composition and organoleptic characteristics of amber wine, which were prepared under micro-winemaking conditions on the basis of the research laboratory of the Department of Wine and Sensory Analysis of the Odessa National Technological University from the Rkatsiteli variety. The experiment involved two blocks of research. In the first case, the grapes were crushed, moderately sulfited, after which the pulp was macerated for two, five, ten, twenty, and thirty days. Next, the pulp was sent to pressing, and young wine materials to residual fermentation and clarification. In the second case, the obtained young wine materials after illumination were subjected to additional maceration on the pressed pulp of previously withered Rkatsiteli grapes for 10 days. Amber wine Rkatsiteli was used as a standard, which was obtained according to the classic Kakhetian technology in a kverva at the Georgiy Berikashvili winery, Gurzhansky district, Vachnadziankari microzone, Kakheti. On the basis of a comparative evaluation of experienced amber wines with a reference sample, conclusions were made about the influence of terroir on the style of amber wine. It is shown that the technological regime of maceration largely determines the physical and chemical composition, typicality and quality of amber wine. Optimal technological parameters have been established, allowing to prepare typical wines such as amber wine from Rkatsiteli grapes at the Odessa region's conditions.

**Key words:** technology, *amber wine*, pulp maceration, wine, quality.

**Постановка проблеми.** У світовій практиці виробництва столових вин європейського типу з білих сортів винограду традиційно застосовується технологія, яка передбачає швидке відокремлення сусла від мезги з подальшим його відгалуженням та бродинням «по-білому». Разом з тим, існують і винятки із цих правил, які лише їх підтверджують. Вони свідчать про те, що застосування в деяких випадках настою сусла на меззі у технології білих столових вин дозволяє отримати більш насичені вина, тобто вина іншого стилю. Такі вина характеризуються

гарним тілом, більш повні та насичені у смаку і, як правило, з яскравішим насиченим ароматом і букетом [1–3]. Багатьма вченими сучасних науково-дослідних та виноробних організацій у всьому світі було приділено велику увагу технологічним аспектам процесу виробництва столових вин з білих сортів винограду, який так чи інакше включав операцію мацерації мезги [4–12].

Водночас, значних науково-технологічних робіт, спрямованих на вдосконалення технології мацерації мезги при виробництві столових вин з білих сортів винограду в умовах одеського регіону, не проводилося. Світова тенденція зростаючого інтересу енологів та поціновувачів вина типу *amber wine* свідчить про те, що робота, спрямована на вивчення доцільності виробництва вин цього типу в умовах Одеського регіону, є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Італійськими енологами в рамках програми FFABR було вивчено температурні режими мацерації мезги винограду із сорту Шардоне та визначено оптимальні режими ведення технологічного процесу, що дозволяють найбільше зберегти сортовий аромат [4]. Подібні дослідження, спрямовані на вивчення впливу режимів мацерації мезги з білих сортів винограду на колір, склад фенольного комплексу та якість білих столових вин, були проведені вченими США, Хорватії, Словенії та ін. [5–9].

Найбільш яскраві представники вин із білих сортів винограду, технологія яких передбачає тривалий контакт із мезгою – це вина кахетинського типу. Це окрема категорія вин, які за своїм кольором та текстурою кардинально відрізняються від білих столових вин європейського типу. За характерний янтарний колір їх називають також янтарними винами або *amber wine*. За деякими даними, історична колиська виробництва вина за технологією витримки виноградного суслу з білих сортів винограду разом з мезгою та гребенями (кахетинська технологія) винайшли і застосовували на території сучасної Грузії (регіон Кахетія) ось уже близько восьми тисяч років [10]. Кілька сторічч тому вина за подібною технологією почали виробляти у Італії (регіон Фріулі-Венеція-Джулія) та Словенії (регіон Горішка). У наш час окрім цих країн бурштинове вино виробляють у Хорватії, США (Каліфорнія), Новій Зеландії, Австрії, Німеччині [11; 12].

Сьогодні ці вина виробляються в невеликих кількостях в різних господарствах нашої країни і за її межами і поступово завойовують визнання споживачів. При цьому вони настільки відрізняються від звичайних столових білих, що, можливо, багато людей, які ніколи не пробували такі вина, відразу б їх відкинули. Колір, текстура, аромат – зовсім інші. Вони містять більше танінів, ніж звичайні білі вина. І, не дивлячись на їх строгість, багато хто з них мають свіжість і безпосередність, які суперечать часто використовуваному опису «окислені». Так, більшість цих вин виробляються способом, що сприяє великим насиченням цих вин киснем. І між тим – це не порок для даної групи вин. Одні з них можуть характеризуватися яскравими квітковими, інші більш трав'янистими тонами. Можуть розвиватися медові, ізюмні тони, характерна зрілість [10].

**Мета дослідження** – вивчення доцільності та вдосконалення технологічних режимів виробництва вин типу *amber wine* в умовах одеського регіону.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Виконати літературний огляд сучасних напрямів досліджень, спрямованих на технологічні, історичні, аспекти та сучасні тенденції виробництва *amber wine*.
2. Розробити схему експерименту, яка передбачала вивчення впливу таких технологічних чинників, як режими мацерації та вплив додаткової мацерації виноматеріалу на м'яззі в'яленого винограду.

3. Приготувати дослідні зразки вин згідно зі схемою експерименту.
4. Визначити значення та фізико-хімічних показників вин та здійснити оцінку їх сенсорного профілю.
5. Зробити аналіз отриманих результатів, узагальнити отримані дані та зробити висновки про доцільність виробництва вин типу amber wine в умовах Одеського регіону.

**Виклад основного матеріалу.** При виконанні наукової роботи використовувалися вина типу amber wine, які були отримані в сезон 2021 року з сорту Ркацителі в умовах мікро виноробні кафедри Технології вина та сенсорного аналізу ОНТУ та відрізнялися тривалістю мацерації (від 2 до 30 діб). Було проведено 2 блоки досліджень. У першому блоці (1.1–1.5) мацерація проводилася протягом 2, 5, 10, 20 та 30 діб (див. табл. 1).

У другому блоці (2.1–2.5) ті ж виноматеріали піддавали додатковій мацерації на віджатий меззі в'яленого винограду того ж сорту, який раніше використався для десертних вин. Для порівняння в якості еталонного зразку використовувалося Ркацителі-по-кахетинські, яке було отриману в квеврі на виноробні Георгія Берікашвілі, Гуржанський район, мікрозона Вачнадзіанкарі, Кахеті). Таким чином, інтерес представляло як порівняння вин, приготованих за різною технологією в умовах Одещини, так і порівняна характеристика Українських та Грузинських зразків amber wine.

Таблиця 1

## Загальні фізико-хімічні показники вин

№	Технологічні схеми	Об'ємна доля етилового спирту	Масова концентрація цукрів	Масова концентрація титрованих кислот	Масова концентрація летких кислот	Масова концентрація SO <sub>2</sub>	
						вільної	загальної
Одиниці вимірювань		%	г/дм <sup>3</sup>	г/дм <sup>3</sup>	г/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>
1.1	Настій 2 доби	11,8	2,0	6,6	0,41	15	146
1.2	Настій 5 доб	11,7	1,8	6,4	0,43	20	181
1.3	Настій 10 доб	11,9	2,1	6,5	0,51	20	125
1.4	Настій 20 доб	11,7	1,6	6,3	0,42	18	143
1.5	Настій 30 доб	11,8	1,7	6,5	0,59	19	138
2.1	Настій 2 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	12,9	2,7	6,4	0,43	21	152
2.2	Настій 5 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	13,0	2,1	6,1	0,40	22	149
2.3	Настій 10 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	12,9	2,5	6,4	0,56	19	142
2.4	Настій 20 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	13,1	1,9	6,2	0,45	21	137
2.5	Настій 30 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	12,9	2,9	6,3	0,53	16	142
К	Квеврі, Грузія (Берікашвілі)	13,5	2,7	4,1	0,52	21	176

Дослідження фізико-хімічних показників та сенсорний аналіз усіх зразків вин проводились на базі лабораторій кафедри ТВтаСА. Результати фізико-хімічного аналізу вин представлені у таблиці 1.

Об'ємна частка етилового спирту становила найменше значення – 11,7–11,9 % для зразків 1.1–1.5, і зростала до 12,9–13,1 % в варіантах 2.1–2.5, що обумовлено вторинним бродінням під час додаткової мацерації на м'яззі в'яленого винограду. Контрольний зразок (К) мав більше значення об'ємної частки етилового спирту (13,5 %), що обумовлено начальною більшою часткою цукрів у винограді з господарства Берікашвілі. Інші значення показників перебували в допустимих межах згідно ДСТУ 48-06: 2007 для столових вин спеціального типу і не залежали принципово від застосовуваної технології.

Величина оптичної щільності зі збільшенням тривалості мацерації мала тенденцію до зростання. Значення показника у зразках 1.1–1.5 змінювалося від 0,092 у разі настою 2 діб; до 0,145 при настої 30 діб (рис. 1).

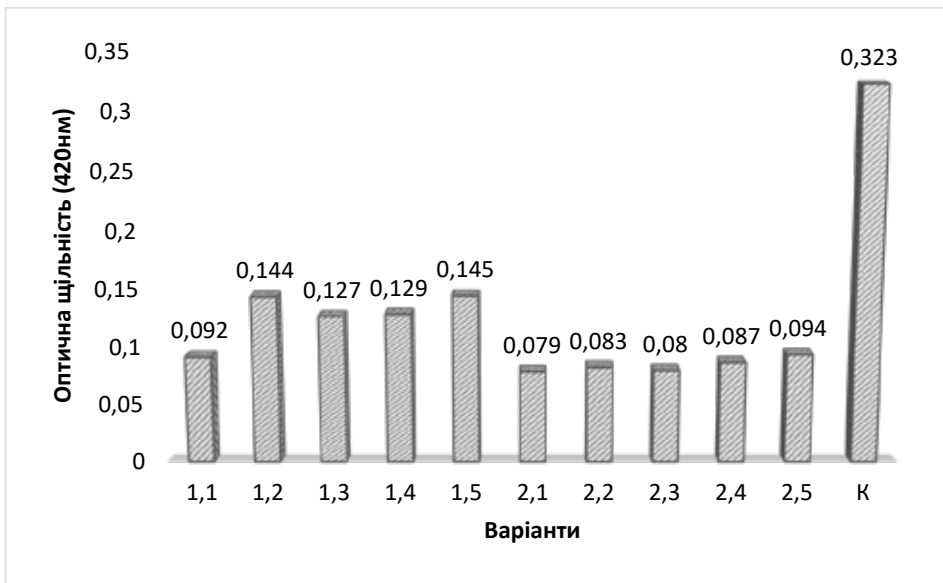


Рис. 1. Оптичні показники вин

При цьому в деяких зразках відзначається стрибкоподібний характер зміни цього параметра, що, очевидно, може пояснюватися зміною форми окиснення, полімеризацією та конденсацією частини фенольних речовин, які відповідають за фарбування вина.

Цікаво відзначити, що у разі застосування технології вторинної мацерації на віджатій меззі в'яленого винограду во всіх випадках відзначається значне зниження інтенсивності фарбування вина (оптична щільність  $D_{420}$  знижувалася з 0,092–0,145 до 0,079–0,094). Очевидно, це можна пояснити додатковими відновлювальними процесами, що відбуваються при бродінні молодих виноматеріалів при додатковому мацерації. Максимальною величиною показника характеризувався контрольний зразок К (Грузія) – 0,323, що була у декілька разів більше ніж у опитних зразків.



Результати аналізу масової концентрації суми фенольних речовин контрольного та дослідних зразків представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

### Масова концентрація суми фенольних речовин

№	Технологічні схеми	Сума фенольних речовин
		мг/дм <sup>3</sup>
1.1	Настій 2 доби	143
1.2	Настій 5 доб	372
1.3	Настій 10 доб	584
1.4	Настій 20 доб	640
1.5	Настій 30 доб	713
2.1	Настій 2 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	217
2.2	Настій 5 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	442
2.3	Настій 10 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	547
2.4	Настій 20 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	674
2.5	Настій 30 доби, та додаткова мацерація на м'яззі в'яленого винограду	726
К	Квеврі, Грузія (Берікашвілі)	1593

Як видно з таблиці, при збільшенні тривалості настою на меззі відбувається прямо пропорційне зростання суми фенольних речовин, масова концентрація яких збільшувалася від 143 мг/дм<sup>3</sup> у разі настою 2 діб до 713 мг/дм<sup>3</sup> у разі настою 30 діб. Та ж тенденція відбувалися у разі додаткового настою на м'яззі в'яленого винограду. Істотно вище було значення показника в контрольному зразку – 1593 мг/дм<sup>3</sup>, що свідчить про особливості технології та ґрунтово-кліматичних умов регіону Кахетії, де вин був вироблений.

При проведенні сенсорної оцінки вин групою експертів були проаналізовані такі показники, як прозорість, колір, чистота букета, інтенсивність букета, якість букета, чистота смаку, інтенсивність смаку, після-смак, якість смаку і загальна гармонія за 100-бальною шкалою оцінювання. Результати загальної оцінки, що включає ці показники, представлені на рис. 2.

Як видно з рисунку 2, еталонний варіант вина, виготовлений у квеврі на виноробні Берікашвілі, мав найвищу якість, повний, насущений, інтенсивний, але гармонійний смак та розвинений аромат, за що отримав найвищу оцінку 84 бали.

Стилістика виготовлених на кафедрі вин була дещо іншою. Загалом вони характеризувались також типовим складним букетом та смаком, але, не таким масивним та потужним як в контролі. Загальна оцінка опитних зразків варіювала від 70 до 82 балів.

З точки зору типовості, найменш вдалим був зразок, отриманий в наслідок настою на меззі протягом 2 діб. Найвищою оцінкою характеризувалися варіанти 1.3 (82 бали) та 2.3 (81 бал), які приготовлені при настою мезги протягом 10 діб. У смаку була приємна бархатистість, повнота і характерна терпкість на тлі достатньої кислотності. При цьому зразок 1.3, що має найвищу оцінку з усіх досліджених варіантів (82 бали), був м'яким, округлим, гармонійним, і найбільше відповідав типу. За інтенсивністю аромату він також найбільшою мірою наближався до контролю.

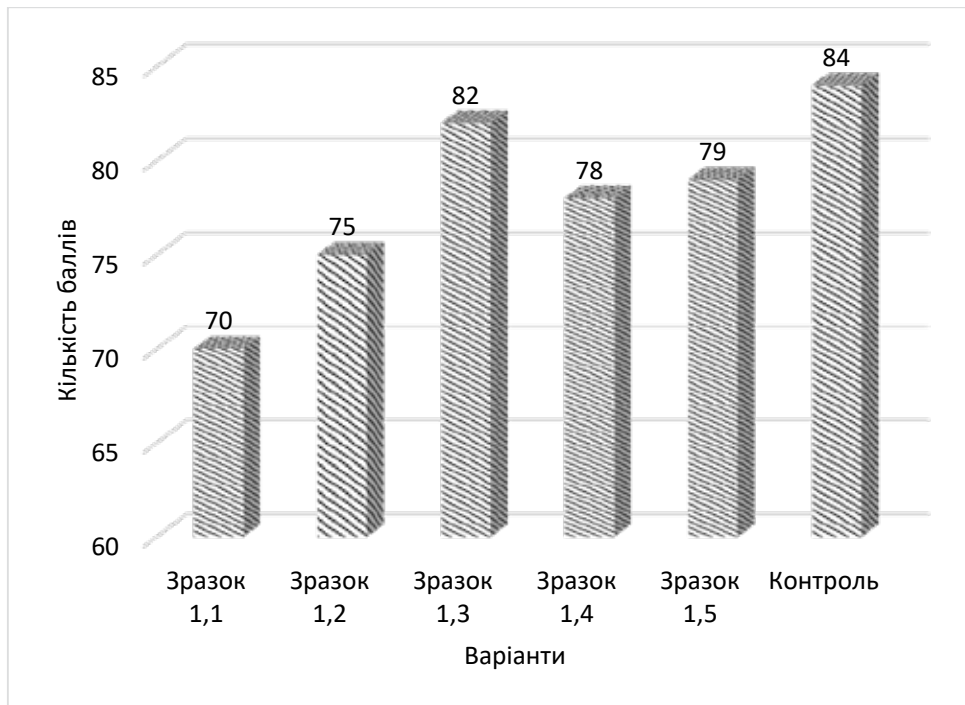


Рис. 2. Загальна оцінка зразків вин першого блоку (варіанти 1.1–1.5)

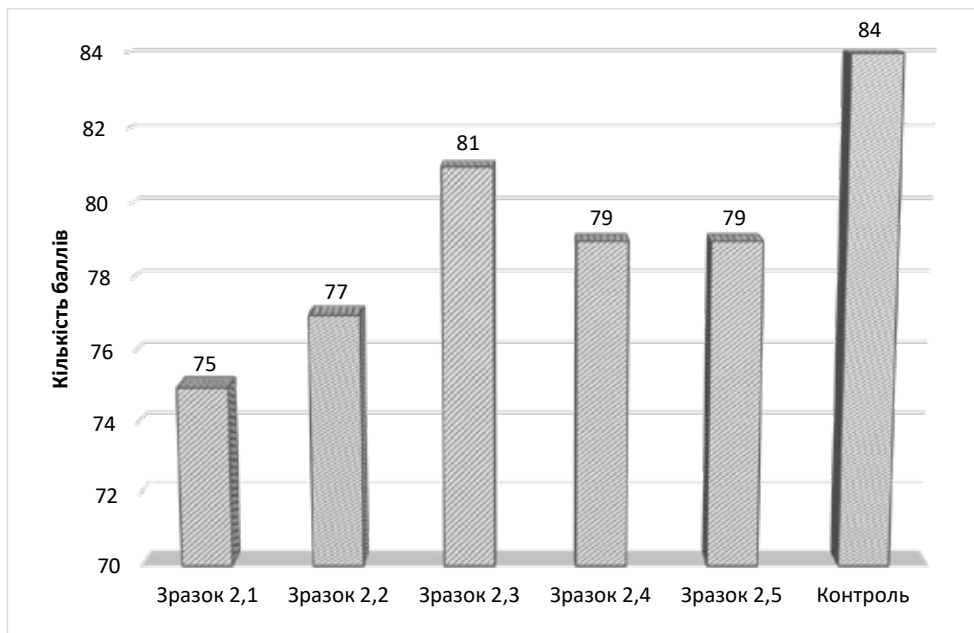


Рис. 3. Загальна оцінка зразків вин другого блоку (варіанти 2.1–2.5)

У винах із застосуванням додаткового бродіння та мацерації на віджатий меззі в'яленого винограду (рис. 3) в загальному випадку була відзначена поява десертних ноток та легких медово-квіткових тонів. Відзначалося світліше забарвлення і відсутність тонів грубості у смаку. Разом з тим, легкі десертні тони в деяких випадках нівелювали типовість кахетинського вина, відводячи його напрямку більш легкого і менш типового, що не дозволило за загальної позитивної оцінки виділити їх як кращі.

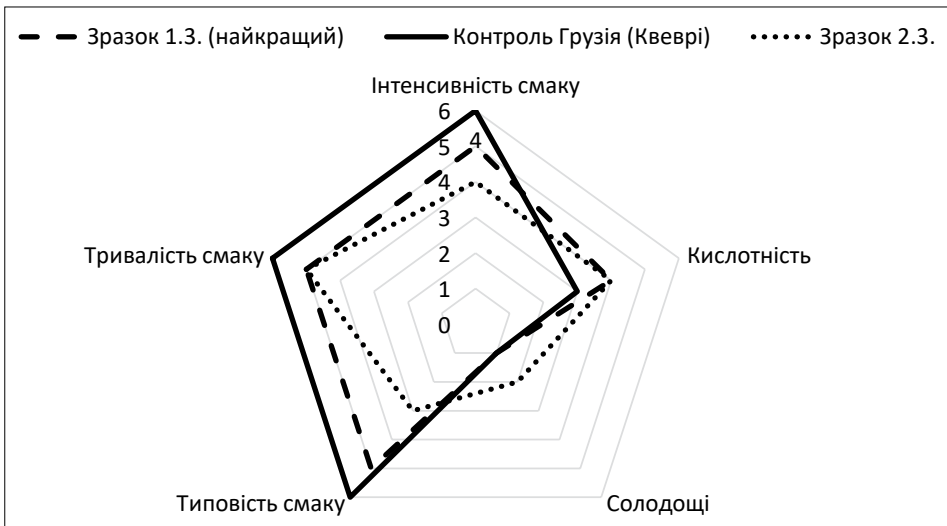


Рис. 4. Порівняльна профілограми смаку кращих варіантів 1.3, 2.3 та контролю К

У разі більш тривалого настою (варіанти 1.4 і 1.5) відзначалося посилення повноти і тіла, була відзначена терпка терпкість, з'являлася деяка грубість. У варіанті 1.5 було відзначено поява тонів соняшника. Очевидно, ці зразки мають хороший потенціал, і при закладці їх на витримку їм слід було б віддати перевагу.

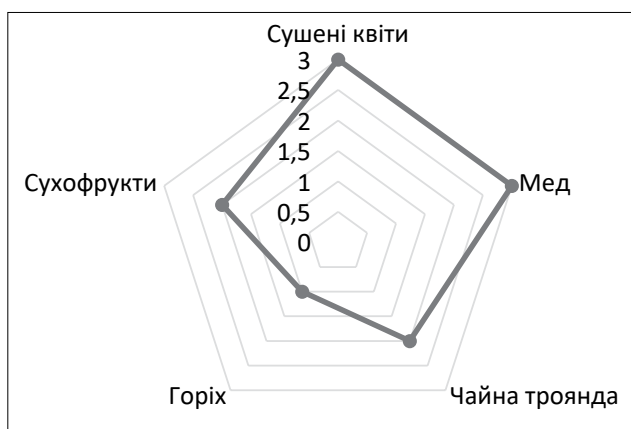


Рис. 5. Ароматичний профіль найкращого опитного зразку 1.3

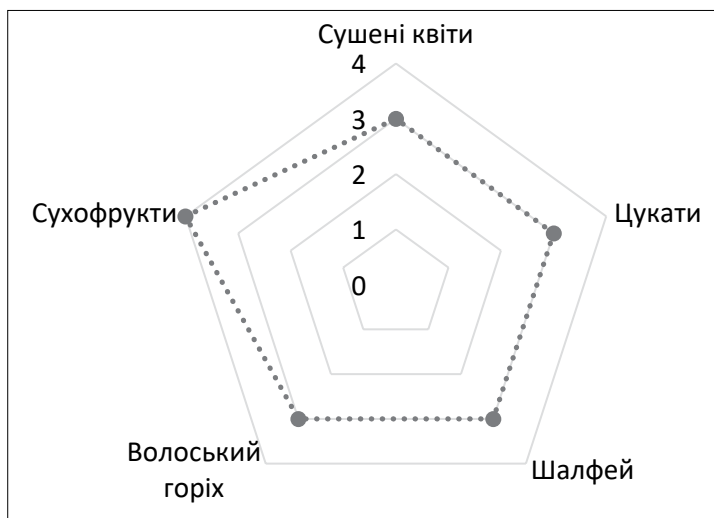


Рис. 6. Ароматичний профіль контролю К (Грузія-квеврі)

При оцінці вин типу amber wine без прицілу на тривалу витримку, експерти надали перевагу варіанту 1.3 – мацерація мезги протягом 10 діб. У букеті цього зразка переважали відтінки засушених квітів, сухофруктів, чайної троянди та меду. На задньому плані на тлі приємної свіжості було відзначено легкі горіхові відтінки (рис. 5). Букет контрольного варіанту вина з Грузії, отриманого в квеврі, характеризувався більш насиченими тонами сухофруктів, волоського горіха, шавлії та цукатів на тлі легких відтінків висушених квітів (рис. 6).

#### Висновки:

1. Багата історія, що сягає давнини, та унікальні властивості вин типу amber wine зумовлюють останніми роками підвищений інтерес до них енологів та поціновувачів вина у всьому світі.

2. Застосовувана технологія істотно впливає на склад і тип amber wine. Технологія, яка передбачає тривалий контакт з мезгою, дозволяє отримувати найбільш повні та насичені вина з інтенсивним забарвленням та гарним тілом, які характеризуються максимальним вмістом фенольних речовин.

3. Значний вплив на якість та типовість вин має як технологія, і теруар. Так, грузинське кахетинське характеризувалося вищою танінністю, потужним букетом та смаком, а також інтенсивним кольором у порівнянні з досвідченими варіантами.

4. Технологія, що передбачає вторинну мацерацію молодих кахетинських виноматеріалів на віджатій меззі із попередньо в'яленого винограду, сприяло отриманню вин з більшою десертністю, що характеризуються посиленням квіткових та медових відтінків. Інтенсивність забарвлення та загальна типовість для кахетинських вин у разі застосування цієї технології (вторинна мацерація на меззі в'яленого винограду) мала тенденцію до зниження.

5. В результаті аналізу використання різних режимів мацерації для отримання типового вина типу amber wine в умовах Одеського регіону встановлено, що найбільш вдалими варіантами виявились схеми, що передбачають мацерацію мезги протягом 10 діб. В умовах Одеського регіону така технологія дозволяє отримувати досить повні типові бурштинові вина з яскравим складним букетом та гармонійним смаком, але більш легкого типу у порівнянні з грузинськими аналогами вин такого типу.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Marais J. Effect of different wine-making techniques on the composition and quality of Pinotage wine. I. Low-temperature skin contact prior to fermentation. *South African Journal of Enology & Viticulture*. 2003. № 24 (2). P. 70–75. DOI: 10.21548/24-2-2642.
2. Piombino P., et al. Effects of off-vine bunches shading and cryo-maceration on free and glycosylated flavours of Malvasiadelle Lipari wine. *Int. J. Food. Sci. Technol.* 2010. № 45. P. 234–244. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2009.02126.
3. Carillo M., et al. An inertizing and cooling process for grapes cryo-maceration. *Electron. J. Biotechnol.* 2011. 14. P.6–14. DOI: 10.2225/vol14-issue6-fulltext-10.
4. Naviglio D., et al. Study of the Grape Cryo-Maceration Process at Different Temperatures. *Foods*. 2018. № 7(7). P. 107. DOI: 10.3390/foods7070107.
5. Carillo M., et al. An inertizing and cooling process for grapes cryo-maceration. *Electron. J. Biotechnol.* 2011. № 4. P. 6–14. DOI: 10.2225/vol14-issue6-fulltext.
6. Formato A. et al. Supercritical fluid extraction of  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids from hops compared to cyclically pressurized solid–liquid extraction. *J. Supercrit. Fluid.* 2013. № 84. P. 113–120. DOI: 10.1016/j.supflu.2013.09.021.
7. Gómez-Míguez M., et al. Effects of prefermentative skin contact conditions on colour and phenolic content of white wines. *J. Food Eng.* 2007. № 78. C. 238–245. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.021.
8. Bavčar D, et al. The influence of skin contact during alcoholic fermentation on the aroma composition of Ribolla Gialla and Malvasia Istriana Vitisvinifera (L.) grape wines. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2011. № 6. P. 1801–1808 DOI: org/10.1111/j.1365-2621.2011.02679.
9. Peinado R.A., et al. Comparative study of aromatic compounds in two young white wines subjected to pre-fermentative cryo-maceration. *Food Chem.* 2004. № 4. P. 585–590. DOI: 10.1016/S0308-8146(03)00282-6.
10. Саймон В., Райан О. Amber Revolution. Як світ захохався в оранжеве вино. Yakaboo Publishing, 2020. P. 304.
11. Bonné J. San Francisco Chronicle. Shedding light on orange wine. Inside Scoop S, June 15, 2010.
12. Asimov E. Orange Wines. The New York Times: The Pour, August 3, 2009.

**REFERENCES:**

1. Marais, J. (2003). Effect of different wine-making techniques on the composition and quality of Pinotage wine. I. Low-temperature skin contact prior to fermentation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 24(2), 70–75.
2. Piombino, P., Genovese, A., Gambuti, A., La Morte, S.A., Lisanti M.T., Moio L. (2010). Effects of off-vine bunches shading and cryo-maceration on free and glycosylated flavours of Malvasiadelle Lipari wine. *Food science and technology*, 45, 234–244.
3. Carillo M, Formato A, Fabiani A, Scaglione G, Pucillo GP (2011). An inertizing and cooling process for grapes cryo-maceration. *Biotechnology*, 14, 6M14.
4. Naviglio D, Formato A, Scaglione G, Montesano D, Pellegrino A, Vилlecco F. (2018). Study of the Grape Cryo-Maceration Process at Different Temperatures. *Foods*, 7(7), 107.
5. Carillo M, Formato A, Fabiani A, Scaglione G, Pucillo GP. (2011). An inertizing and cooling process for grapes cryo-maceration. *Biotechnology*, 4, 6–14.
6. Formato A, Gallo M, Ianniello D, Montesano D, Naviglio D. (2013). Supercritical fluid extraction of  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids from hops compared to cyclically pressurized solid–liquid extraction. *J. Supercrit. Fluid.*, 84), 113–120.
7. Gómez-Míguez M.J., González-Miret M.L., Hernanz D., Fernández M.Á., Vicario I.M., Heredia F.J. (2007). Effects of prefermentative skin contact conditions on colour and phenolic content of white wines. *Food English.*, 78, 238–245.

8. Bavčar D., BašaČesnik H., Čuš F., Košmerl T. (2011). The influence of skin contact during alcoholic fermentation on the aroma composition of Ribolla Gialla and Malvasia Istriana *Vitisvinifera* (L.) grape wines. *Food Science and Technology*, 6, 1801–1808.
  9. Peinado R.A., Moreno J., Bueno J.E., Moreno J.A., Mauricio J.C. (2004). Comparative study of aromatic compounds in two young white wines subjected to pre-fermentative cryo-maceration. *Food Chemistry*, 4, 585–590.
  10. Saimon V., Raian O. (2020). Amber Revolution. Yak svit zakokhavsia v oranzheve vyno. Yakaboo Publishing, 304.
  11. Bonné J. (2010, June 15). Shedding light on orange wine. San Francisco Chronicle.
  12. Asimov E. (2009, August 3). Orange Wines. The New York Times: The Pour.
-

---

# ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

HYDRAULIC CONSTRUCTION,  
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 631.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.26>

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ҐРУНТІВ

---

**Ладичук Д. О.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,  
водної та електричної інженерії  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-5729-2521

**Ладичук В. Д.** – магістр з гідротехнічного будівництва,  
водної інженерії та водних технологій  
ORCID ID: 0009-0004-9233-7360

*В роботі наведені результати досліджень щодо можливості компенсації нестачі тепла у ґрунті за рахунок примусової його подачі у розрахунковий шар ґрунту і забезпечення необхідного водно-теплового режиму для створення комфортних умов вегетації сільськогосподарських рослин.*

*Проаналізовані відомі у гідротехнічній практиці результати досліджень, що спрямовані на вирішення задачі створення необхідного водно-теплового режиму ґрунту для умов степової зони України. Доведено, що для умов досліджуваної території Причорноморської низини водний та тепловий режими ґрунтів є взаємопов'язаними, особливо у кореневмісному шарі.*

*Для розробки ідеї комплексного регулювання водно-теплового режиму ґрунтів було виконане теоретичне обґрунтування технічних рішень, в якому розглядається рух води у системі ґрунт – рослина – атмосфера.*

*Встановлено, що виникнення потоку вологи при накладенні температурного градієнту показує, що достатньо порівняно невеликої різниці температур, щоб викликати рух води у ґрунті, особливо у обмеженому просторі. Тому створення підвищеного перепаду температур по глибині ґрунтового профілю дозволяє прискорити забезпечення необхідного водно-теплового режиму.*

*В результаті досліджень розроблений пристрій, який може бути використаний для зрошення сільськогосподарських культур та захисту ґрунту від промерзання.*

*Розглянуто конструкцію пристрою для регулювання водно-теплового режиму ґрунтів, який отримав назву зрошувач-нагрівач за деклараційним патентом України № 20031211944 одного з авторів.*

*Використання запропонованого пристрою дозволяє знизити затрати при зрошенні сільськогосподарських культур, за рахунок 60 % економії поливної води та значно скоротити експлуатаційні витрати.*

**Ключові слова:** ґрунт, кореневий шар, водно-тепловий режим, сільськогосподарські культури, температурний градієнт, зрошувач-нагрівач.

---

**Ladychuk D. O., Ladychuk V. D. Device for regulation water-thermal regime of soils**

*The paper presents the results of research on the possibility of compensating for the lack of thermal in the soil due to its forced supply to the estimated soil layer and ensuring the necessary water-thermal regime to create comfortable conditions for the vegetation of agricultural plants.*

*The results of research known in hydrotechnical practice, aimed at solving the problem of creating the necessary water-thermal regime of the soil for the conditions of the steppe zone of Ukraine, were analyzed. It has been proved that for the conditions of the studied territory of the Black Sea Lowland, the water and thermal regimes of the soil are interrelated, especially in the root layer.*

*To develop the idea of complex regulation of the water-thermal regime of soils, a theoretical justification of technical solutions was performed, which considers the movement of water in the system soil – plant – atmosphere.*

*It was established that the occurrence of moisture flow when a temperature gradient is imposed shows that a relatively small temperature difference is enough to cause water movement in the soil, especially in a limited space. Therefore, the creation of an increased temperature difference along the depth of the soil profile allows you to speed up the provision of the necessary water and thermal regime.*

*As a result of the research, a device was developed that can be used to irrigate crops and protect the soil from freezing.*

*The design of the device for regulating the water-thermal regime of the soil, which was called the irrigator-heater according to the declaratory patent of Ukraine No. 20031211944 of one of the authors, was considered.*

*The use of the proposed device allows you to reduce the costs of irrigation of agricultural crops, due to 60 % saving of irrigation water and significantly reduce operational costs.*

**Key words:** soil, root layer, water-thermal regime, agricultural crops, temperature gradient, irrigator-heater.

**Вступ.** До 70 % ґрунтових ресурсів планети потребують поліпшення і меліорацій. Природна родючість темно-каштанових ґрунтів не забезпечує без зрошення високі урожаї сільськогосподарських культур. Необхідне застосування комплексу меліоративних заходів, що знижують негативний вплив несприятливих погодних умов і підвищують родючість ґрунтів. Основним ефективним засобом підвищення родючості темно-каштанових ґрунтів є зрошення в комплексі з агротехнічними заходами, спрямованими на накопичення, або зберігання гумусу в ґрунті і підтримка проектного водно-сольового, водно-теплого, повітряного і поживного режимів ґрунтів. Тому розробка критеріїв та способів забезпечення водно-теплого режиму ґрунтів є актуальним завданням меліоративної науки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом питанням, що пов'язані з регулюванням водно-теплого режиму ґрунтів приділяється мало уваги. В першу чергу, це пов'язано з проблемами, які виникають в результаті глобальних та регіональних змін клімату [1, с. 69–72; 2, с. 215–216].

Багато авторів пристроїв, що спрямовані на вирішення задачі створення необхідного водно-теплого режиму ґрунту, кожний із режимів (водний режим, тепловий режим) розглядають окремо [3, с. 58–59]. Але у ґрунті ці два режими між собою суттєво взаємопов'язані, а також відомо, що незважаючи на достатню вивченість кожного з показників еколого-меліоративного режиму ландшафтів [4, с. 148–149], в тому числі і ґрунтів, і їх допустимих меж, фактичні їх значення у визначені періоди розвитку меліоративного стану можуть виходити за ці межі і виробниче поліпшення одного, або декількох показників еколого-меліоративного режиму в даних меліоративних умовах можуть привести, чи не привести до поліпшення меліоративного стану на зрошуваних землях степової зони України.

Тепловий режим ґрунту визначається сукупністю явищ поглинання, переміщення і віддачі тепла, і описується розподілом температур на різній глибині і в різні періоди [5, с. 1–2].



Основним показником теплового режиму ґрунту є його температура. У зв'язку з добовою та річною циклічністю надходження сонячної радіації на поверхню ґрунту, для кожного ґрунту характерними є добовий та річний ходи температури [6, с. 84–86].

Суттєві зміни в характер теплового режиму ґрунтів вносить обробіток ґрунту, а також агромеліоративні заходи. Основний показник теплозабезпеченості ґрунтів – сума активних температур ( $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) у ґрунті на глибині 20 см, тому що саме тут розміщується основна маса коренів рослин [7, с. 40–42].

В той же час зниження вологості ґрунту порівняно із встановленим рівнем у будь-який період розвитку рослин призводить до зниження урожаю, але найбільші втрати його бувають при зниженні вологості в критичний період розвитку рослин, коли закладаються, формуються і активно ростуть органи, що визначають урожай. Для регулювання водного режиму ґрунтів в зоні ризикованого землеробства степової зони України застосовується зрошення сільськогосподарських угідь, при якому витрачаються великі об'єми зрошувальної води.

**Постановка проблеми.** Заходи активного впливу на тепловий режим ґрунту ділять на: 1) меліоративні (зрошення-осушення); 2) агромеліоративні (обробіток, мульчування, гребнювання, залишення стерні на зиму, лісомеліорація) та 3) агрометеорологічні (заходи, що знижують випромінювання тепла з ґрунту, заходи по боротьбі з заморозками, димові завіси тощо).

Зрошення зменшує відбивання сонячної радіації на 20 % та знижує випромінювану радіацію, а отже, збільшує прихід теплової енергії в ґрунт. Зрошення збільшує теплопровідність ґрунту, що сприяє більш рівномірному його прогріванню і зменшенню коливань температури [5, с. 2–3].

Уміле регулювання теплового режиму ґрунтів за допомогою зміни водного режиму сприяє відтворенню ґрунтової родючості та суттєво підвищує урожайність сільськогосподарських культур.

Тому виникає питання комплексного регулювання водно-теплового режиму ґрунтів безпосередньо в кореневмісному шарі ґрунту за допомогою створення ґрунтових теплових насосів, при тому, зрошувальна вода буде подаватися безпосередньо в кореневу систему сільськогосподарських рослин, що суттєво знизить розрахункові втрати на випаровування у приземному шарі ґрунту.

**Мета дослідження.** Розробка пристроїв комплексного регулювання водно-теплового режиму кореневого шару зрошуваного ґрунту для створення оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур в умовах півдня України

**Виклад основного матеріалу.** Для обґрунтування ідеї розглядається рух води у системі ґрунт – рослина – атмосфера.

Розглянемо загальновідоме рівняння теплового балансу в основі якого лежить математичне формулювання закону збереження енергії на рівні підстилаючої поверхні [8, с. 31–32]:

$$R = P + LE + V, \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв}) \quad (1)$$

Сутність рівняння зводиться до того, що баланс радіаційного тепла  $R$  витрачається на тепловіддачу шляхом турбулентного обміну  $P$ , на випаровування з підстилаючої поверхні  $LE$  і на потік тепла у ґрунт  $V$ .

Таким чином, вирішується задача аналізу випаровування та турбулентного потоку тепла (турбулентна дифузія) в приземному шарі атмосфери, коли умови переносу тепла і водяного пару приймаються еквівалентними [9, с. 65–71].

Тоді через рівняння теплового балансу з'явилася можливість регулювати потік тепла у ґрунт (В), тобто, більш раціонально використовувати баланс радіаційного тепла R.

Зміни вологозапасів в зоні аерації відбуваються безперервно. Як відомо, при зменшенні турбулентного потоку тепла спостерігається збільшення вологозапасів ґрунту і навпаки [10, с. 118–120; 11, с. 226–229]. Тоді, крім ґрунту необхідно приділити увагу і приземному шару атмосфери, виділяючи шар у поверхні ґрунту ( $z_1 = 0$ ) та культурний шар ( $z_2$  – максимальна висота вегетації рослини).

Виникнення потоку вологи при накладенні температурного градієнту ( $\delta T/\delta z$ ) показує, що достатньо порівняно невеликої різниці температур, щоб викликати рух води у ґрунті, особливо у обмеженому просторі. Тому створення підвищеного перепаду температур ( $\Delta T$ ) по глибині ґрунтового профілю ( $\Delta z$ ) дозволяє прискорити забезпечення необхідного водно-теплового режиму у двох випадках: 1) створення необхідного водного режиму ґрунту для забезпечення комфортних умов для рослини (для стабільно-теплого періоду вегетації); 2) створення необхідного водно-теплового режиму ґрунту для забезпечення нормальної вегетації рослин (для нестабільного за теплом періоду року або при виникненні приморозків).

Для району виробничої перевірки роботи запропонованого пристрою, яким є господарства різних форм власності, які розташовані в зоні Причорноморської низини Херсонської області, ці показники мають наступні значення (див. табл. 1).

Таблиця 1

**Середньобагаторічні значення показників температурного режиму  
для умов Причорноморської низини Херсонської області**

Місяці	Температура на поверхні ґрунту, °С ( $z=0$ )		Перепад температур, $\Delta T$	Температура повітря, °С ( $z=1\text{м}$ )
	максимум	мінімум		
Січень	+8,4	-9,9	18,3	-0,7
Лютий	+14,1	-9,6	23,7	+0,2
Березень	+24,3	-5,2	29,5	+4,0
Квітень	+37,7	-0,7	38,4	+10,1
Травень	+48,6	+4,2	44,4	+15,6
Червень	+53,7	+9,9	43,8	+20,2
Липень	+57,5	+12,7	44,8	+23,7
Серпень	+54,7	+11,0	43,7	+22,4
Вересень	+43,3	+3,8	39,5	+16,8
Жовтень	+31,9	-1,1	33,0	+11,3
Листопад	+18,2	-4,2	22,4	+5,1
Грудень	+10,8	-9,6	20,4	+0,8
Середнє	+33,6	+0,1	33,5	+10,8

На виконання таких задач розроблений пристрій, який відноситься до сільськогосподарських гідротехнічних та теплових меліорацій і може бути використаний для зрошення сільськогосподарських культур та захисту ґрунту від промерзання.

На рисунку 1 зображена принципова схема запропонованого пристрою, який отримав назву зрошувач – нагрівач [12, с. 1–2].

Зрошувач – нагрівач включає тепловодонепроникний екран трапецевидної форми 1, що обмежує зону обігріву кореневмісного шару ґрунту 2, у якому

розташований теплопровідний електричний кабель 3, параметри якого визначаються теплотехнічним розрахунком, інфільтраційна вода 4, що накопичується від опадів та зрошення. Розміри тепловодонепроникного екрану встановлюються від марки використаного кабелю та глибини кореневмісного шару ґрунту, яка повинна складати не більше 60–70 см (оптимальна величина прогріву ґрунту). Крім цього робота пристрою керується електронним терморегулятором, що дозволяє гнучко регулювати температуру шару ґрунту і раціонально використовувати електроенергію.

Пристрій працює наступним чином. В час виникнення необхідності покращення водно-теплого режиму кореневмісного шару ґрунту, у один із наведених вище випадків, на теплопровідний електричний кабель 3 подається напруга. Електричний струм, що проходить по кабелю розігріває його, після чого тепло досягає інфільтраційної води 4 і нагріває її, а також прилеглий до кабелю шар ґрунту. Тепле повітря, а за ним підігріта вода по капілярах піднімаються у верхні шари ґрунту. Це створює необхідну температуру у кореневмісному шарі 2 та підживлює водою кореневу систему рослин. Тепловодонепроникний екран 1 дозволяє спрямувати тепло у належному напрямкові та акумулює інфільтраційну воду 4. Після припинення подачі напруги на теплопровідний кабель 3 інфільтраційна вода 4 накопичується на дні тепловодонепроникного екрану 1. При виникненні необхідності цикл повторюється.

**Висновки і пропозиції.** Брак сонячної енергії у шарі ґрунту, можна компенсувати за рахунок примусової подачі тепла у цей шар ґрунту. Система керована електронним терморегулятором дозволяє гнучко регулювати температуру шару ґрунту і раціонально використовувати електроенергію. Примусова подача тепла у ґрунт дозволяє регулювати не тільки тепловий режим, а і створювати комфортний для рослин водний режим кореневмісного шару ґрунту.

Використання запропонованого пристрою дозволяє знизити затрати при зрошенні сільськогосподарських культур, за рахунок 60 % економії поливної води та значно скоротити експлуатаційні витрати.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Воропай Г.В., Яцик М.В., Мозоль Н.В. та ін. Особливості формування водно-теплого режиму осушуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 1 (802). С. 68–74.
2. Кузьмич Л.В., Коваль С.І. Аналіз природно-кліматичних та антропогенних чинників, що впливають на екологічну безпеку осушуваних торфових ґрунтів. *Науковий вісник*. 2009, Вип. 19. С. 214–218.
3. Лозовіцький П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів : підручник. 2014. 528 с.
4. Ладичук Д.О., Сафонова О.П. Критерії оцінки родючості агроландшафтів півдня України в сучасних умовах землекористування. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2004. № 1. С. 147–151.

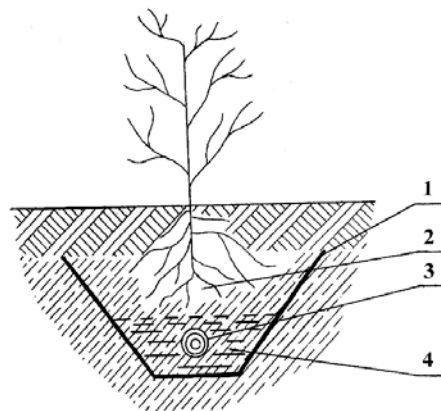


Рис. 1. Принципова схема пристрою для забезпечення необхідного водно-теплого режиму ґрунтів

5. Теплові властивості ґрунтів. URL: <http://www.geograf.com.ua/gruntoznavstvo/1008-teplovi-vlastivosti-gruntiv>
6. Jin C.X., Sands G.R., Kandel H.J. et al. Influence of Subsurface Drainage on Soil Temperature in a Cold Climate. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*. February. 2008. V. 134. P. 83–88.
7. Смага І.С., Черлінка В.Р., Дмитрук Ю.М. Землеробство. Фактори життя рослин і родючість ґрунту : навч. посібник. Чернівці, 2022. 128 с.
8. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Кліматологія: Конспект лекцій. Одеса, 2011. 140 с.
9. Рижук С.М., Кочик Г.М., Мельничук А.О. та ін. Стратегічне управління продуктивністю агроценозів у системі осушеного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 7 (832). С. 62–74.
10. Шкільний Є.П. Фізика атмосфери: Підручник. Одеса, 2005. 507 с.
11. Philip G.R., de Vries D.A. Moisture movement in porous materials under temperature gradients. *Amer. Geophys. Union Transactions*. 1957. V. 38. P. 222–232.
12. Деклараційний патент на винахід 72710 А, Україна, МКІ. Зрошувач-нагрівач. / Д.О. Ладичук, О.І. Булигін. № 20031211944. Заявл. 19.12.2003 ; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. 2с.

#### REFERENCES:

1. Voropay H.V., Yatsyk M.V., Mozol N.V. ta in. (2020). Osoblyvosti formuvannya vodno-teplovoho rezhymu osushuvanykh gruntiv v umovakh zmin klimatu [Peculiarities of the formation of the water-thermal regime of drained soils under conditions of climate change]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, V. 1 (802), pp. 68–74 [in Ukrainian].
2. Kuzmych L.V., Koval S.I. (2009). Analiz pryrodno-klimatychnykh ta antropohennykh chynnykiv, shcho vplyvayut na ekolohichnu bezpeku osushuvanykh torfovykh gruntiv [Analysis of natural-climatic and anthropogenic factors affecting the ecological safety of drained peat soils]. *Naukovyy visnyk*, V. 19, pp. 214–218 [in Ukrainian].
3. Lozovitskyu P.S. (2014). Melioratsiya gruntiv ta optymizatsiya gruntovykh protsesiv [Land reclamation and optimization of soil processes]. *Pidruchnyk*. 528 s. [in Ukrainian].
4. Ladychuk D.O., Safonova O.P. (2004). Kryteriyi otsinky rodyuchosti ahro-landshaftiv pivdnya Ukrayiny v suchasnykh umovakh zemlekorystuvannya [Criteria for assessing the fertility of agricultural landscapes of southern Ukraine in modern land use conditions]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, V. 1, pp. 147–151 [in Ukrainian].
5. Teplovi vlastyivosti hruntiv [Thermal properties of soils]. URL: <http://www.geograf.com.ua/gruntoznavstvo/1008-teplovi-vlastivosti-gruntiv> [in Ukrainian].
6. Jin C.X., Sands G.R., Kandel H.J. et al. (2008). Influence of Subsurface Drainage on Soil Temperature in a Cold Climate. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*. February, V. 134, pp. 83–88.
7. Smaha I.S., Cherlinka V.R., Dmytruk Yu.M. (2022). Zemlerobstvo. Faktory zhyttya roslin i rodyuchist ґрунту [Agriculture. Factors of plant life and soil fertility]: navch. posibnyk. Chernivtsi. 128 p.
8. Vrublevska O.O., Katerusha H.P. (2011). Klimatolohiya: Konspekt lektsiy [Climatology: Synopsis of lectures]. Odessa. 140 p. [in Ukrainian].
9. Ryzhuk S.M., Kochyk H.M., Melnychuk A.O. ta in. (2022). Stratehichne upravlinnya produktyvnisty u systemi osushuvanoho zemlerobstva [Strategic management of the productivity of agroecosystems in the system of drained agriculture]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, V. 7 (832), pp. 62–74 [in Ukrainian].
10. Shkolnyy Ye.P. (2005). Fizyka atmosfery [Physics of the atmosphere]: Pidruchnyk. Odessa. 507 s. [in Ukrainian].
11. Philip G.R., de Vries D.A. (1957). Moisture movement in porous materials under temperature gradients. *Amer. Geophys. Union Transactions*, V. 38, pp. 222–232.
12. Deklaratsiynyy patent na vynakhid 72710 A, Ukrayina, MKI. Zroshuvach-nahrivach [Irrigator-heater] / D.O. Ladychuk, O.I. Bulyhin. № 20031211944. Zayavl. 19.12.2003; Opubl. 15.03.2005, Byul. № 3. 2s. [in Ukrainian].

---

# БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

---

## CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 628.147.2

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.27>

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА ТА ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В СЕЛИЩІ МІСЬКОГО ТИПУ ВЕРХНІЙ РОГАЧИК КАХОВСЬКОГО РАЙОНУ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

---

**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 наведено актуальність роботи, яка полягає в реформуванні, модернізації та розвитку водопостачання в Україні. Наведені проблеми, які потребують невідкладного розв'язання, що обумовлено, перш за все, постійним збільшенням заборгованості по оплаті послуг зі сторони бюджетних організацій та населення. Представлено аналіз роботи системи водопостачання селища міського типу Верхній Рогачик. Наведено аналіз реалізації проектних рішень щодо системи водопостачання селища. Представлено мета роботи та завдання для досягнення зазначеної мети, а саме: провести аналіз загальної характеристики селища міського типу Верхній Рогачик та перспективи його розвитку; провести аналіз роботи існуючої системи водопостачання і її технічний стан; провести гідравлічні розрахунки водопровідної мережі; обґрунтувати основні проблеми функціонування системи водопостачання селища міського типу Верхній Рогачик; надати рекомендації щодо усунення недоліків функціонування системи водопостачання селища міського типу Верхній Рогачик і його розвитку. Представлено місце розташування селища міського типу Верхній Рогачик. Наведені структурні та кількісні показники водоспоживачів. Представлено показники заявленого та фактичного водокористування. Приведена характеристика системи водопостачання населеного пункту. Представлено джерело водопостачання селища. Представлено характеристики 17 свердловин та 13 водонапірних баит. Наведено напірно-регулюючі споруди на території ЗСО свердловин розташовані 13 водонапірних баит з різною місткістю і висотою стовбура. Представлена характеристика трубопроводної мережі та її подальша можливість експлуатації. Наведено втрати води в системі водопостачання селища. Представлено висновки та пропозиції стосовно оптимізації роботи та реконструкції водопровідної мережі селища міського типу Верхній Рогачик.*

**Ключові слова:** будівництво, реконструкція, водопровідна мережа, сучасний стан, перспективний план, модернізація.

---

***Voloshyn M. M. Features of development of construction objects and their reconstruction of centralized water supply in the urban-type village of Verkhniy Rogachyk, Kakhovsky District, Kherson Region***

*The article shows the relevance of the work, which consists in the reform, modernization and development of water supply in Ukraine. The problems that require an urgent solution are given, which is caused, first of all, by the constant increase in arrears for the payment of services on the part of budgetary organizations and the population. An analysis of the operation of the water supply system of the urban-type village of Verkhniy Rogachyk is presented. An analysis of the implementation of project decisions regarding the village's water supply system is presented. The purpose of the work and tasks to achieve the specified goal are presented, namely: to conduct an analysis of the general characteristics of the urban-type village of Verkhniy Rogachyk and its development prospects; analyze the operation of the existing water supply system and its technical condition; perform hydraulic calculations of the water supply network; substantiate the main problems of the functioning of the water supply system of the urban-type village of Verkhniy Rogachyk; provide recommendations on eliminating deficiencies in the functioning of the water supply system of the urban-type village of Verkhniy Rogachyk and its development. The location of the urban-type settlement Verkhniy Rogachyk is presented. The structural and quantitative indicators of water consumers are given. Indicators of declared and actual water use are presented. The characteristics of the water supply system of the settlement are given. The village's water supply source is presented. The characteristics of 17 wells and 13 water towers are presented. The pressure-regulating facilities are indicated on the territory of the ZSO wells, there are 13 water-pressure towers with different capacities and shaft heights. The characteristics of the pipeline network and its further exploitation are presented. Water losses in the water supply system of the village are indicated. Conclusions and suggestions regarding the optimization of work and reconstruction of the water supply network of the urban-type village of Verkhniy Rogachyk are presented.*

**Key words:** *construction, reconstruction, water supply network, current state, long-term plan, modernization.*

**Постановка проблеми.** Чиста та доступна вода залишається невід'ємною частиною життєдіяльності людини. Недостатня її кількість та погана якість, а також нерівноцінний доступ до неї створюють загрози для існування не тільки окремої людини, але й соціуму в цілому.

За переконаннями Козака В.І. та Козлюка О.О., для досягнення стійкого доступу до якісної безпечної води та санітарії потрібна взаємодія на всіх рівнях, починаючи від локального впровадження більш ефективних технологій водопостачання та водовідведення та забезпечення належної регуляторної бази. Особливо важливо підвищити рівень обізнаності про механізми водопостачання та водовідведення, проблеми водокористування. Водночас підвищити ефективність водокористування можна через розвиток інноваційних технологій у сфері забору вод і відведення стоків [1].

Однак внаслідок обмеженості бюджетного фінансування, відсутності взаємозгодженості та оцінки впливу між різними галузевими програмами, фокусації (концентрації) на найбільш проблемних територіях такі програми виконуються лише на 20–50 % та суттєво не покращують ситуацію із водопостачанням і санітарією в сільській місцевості. Тому в сучасних умовах фінансової й організаційної спроможності об'єднаних територіальних громад і формування місцевих бюджетів забезпечити населення доступом до якісного водопостачання та санітарії можливо тільки спільними зусиллями, об'єднуючи ресурси різних організацій та установ, залучаючи мешканців до активної участі у вирішенні проблем та покращенні якості життя.

Дана робота присвячена дослідженню особливостей розробки об'єктів будівництва та їх реконструкції централізованого водопостачання в селищі міського типу Верхній Рогачик Каховського району Херсонської області.

**Стан вивчення проблеми.** Система водопостачання смт Верхній Рогачик побудована за проектом 1963 р. і здана в експлуатацію у 1964 році. Водокористувачем

є комунальне підприємство «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик». Проект, а також дані експлуатації системи водопостачання за 57 років функціонування майже не збереглися [2].

Варто зазначити, аналіз реалізації проектних рішень системи водопостачання селища підкреслює, що за останні 15–20 років економічні умови господарювання, формування ринкових відносин, зміна державного статусу [3], виникнення нових міждержавних відносин, входження в загальносвітову економічну структуру господарювання та інші численні фактори призвели до необхідності перевірки і перегляду прийнятих раніше технічних, економічних, екологічних, інвестиційних рішень в галузі розвитку водозабезпечення селища Верхній Рогачик. Виконаний раніше проект водопостачання базувався на прийнятих перспективних рішеннях стосовно розвитку селища та містив рекомендації, які характерні для старої системи господарювання, і не відповідають реально сформованим на теперішній час економічним, екологічним, інвестиційним, технічним і політичним умовам.

Суттєвий економічний спад виробництва та економіки держави в 90-х роках минулого сторіччя та нездійсненність запланованого раніше розвитку населених пунктів призвели до неможливості, а іноді – недоцільності реалізації практично всіх прийнятих раніше рішень, існуючої схеми водопостачання і, як наслідок, до неоптимального (часто майже неконтрольованого) розвитку системи водопостачання, економічним та екологічним втратам [4], хоча такий підхід в реальних економічних умовах при значній нестачі інвестиційних та обігових коштів диктувався потребами вирішення тільки невідкладних поточних питань.

**Завдання і методика досліджень.** Метою даної роботи є особливості розробки об'єктів будівництва та їх реконструкції централізованого водопостачання в селищі міського типу Верхній Рогачик, яка містить рекомендацій щодо усунення недоліків, підвищення надійності водопостачання, покращення якості послуг, забезпечення раціонального використання матеріальних і енергетичних ресурсів.

**Результати досліджень.** Селище міського типу Верхній Рогачик розташоване на території Верхньорогачиського району в північно-західній частині Херсонської області із загальною площею 96,839 км<sup>2</sup>. На півночі і сході район межує з районами Запорізької області, на заході – з правобережним Нововоронцовським, на півдні і південному заході – з Нижньосірогоським і Великолепетиським районами Херсонської області. На рис. 1 стрілкою зеленого кольору позначено місце розташування смт Верхній Рогачик.

Розташоване на правому березі Дніпра та Каховського водосховища, знаходиться за 18 км від районного центру і 30 км від залізничної станції Козацьке [5] Також зазначимо, що селище розташоване в межах Причорноморської низовини.

Селищна Рада адміністративно підпорядкована Верхньорогачицькій районній Раді. Верхній Рогачик – селище міського типу, центр району розташований в 184 км. від обласного центру, на автодорозі Первомаєвка – Нижні Торгаї. Населення – 6100 чоловік. Як зазначає Білявцев В.Я., селищній раді підпорядковані села Вишневе, Зоря, Леніно і Трудар [6].

По території селища проходить автомобільна дорога Т2208 республіканського значення (рис. 1). Знаходиться за 40 км від залізнич. ст. Сірогози та за 220 км від обл. центру. Має автобусне сполучення з містами Херсон, Запоріжжя та з населеними пунктами району.

На основі даних Верхньорогачицької селищної ради і комунального підприємства «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик» структура і кількість водоспоживачів на 2020 р. і на перспективу до 2024 р. Умовно

споживачів можна розділити на комунально-побутовий, суспільний сектори та сектор індивідуальної власності. На підставі прогностичних розрахунків істотної зміни можуть зазнати комунально-побутовий сектор.

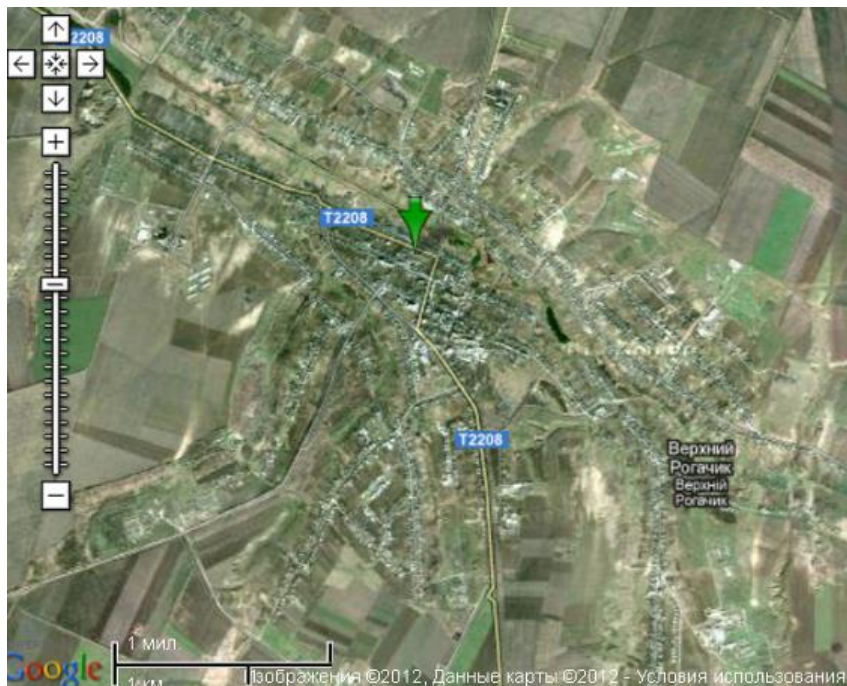


Рис. 1. Ситуаційний план-фото смт Верхній Рогачик

На основі даних, отриманих від Верхньорогачицької селищної ради загальна чисельність населення селища на 2020 р. становила 4550 осіб. Прогнозна чисельність населення і абонентів у селищі зазначена в табл. 1.

Таблиця 1

**Динаміка чисельності водоспоживачів на період 2020–2024 р.**

Показники	2020	2024
Населення, осіб	6010	6500
Абоненти	1745	1902

Відповідно до таблиці, тенденція збільшення чисельності населення збережеться, прогнозоване збільшення чисельності населення за період з 2020 р. до 2024 р. складатиме 490 осіб. 1745 абонентів підключено до селищної системи водопостачання.

Житловий фонд станом на 2020 рік переважно складається з одноповерхової садибної забудови і одноповерхового готелю. За прогностичними оцінками на 2024 рік кількість абонентів збільшиться до 1902, а водоспоживачів – до 4960. Генеральним планом передбачається розвиток селища за рахунок реконструкції територій кварталів, що історично склалися, за рахунок використання внутрішніх



територіальних резервів (вільних від забудови ділянок), а також території сільськогосподарського використання, що належать Верхньорогачицькій селищній раді.

Схема існуючої децентралізованої системи водопостачання являє собою інженерний комплекс, до складу якого входять водозабори із підземного джерела, водоводи, мережа трубопроводів, пожежні резервуари і напірно-регулюючі споруди – водонапірні башти.

Система запроектована у 1963 році і побудована впродовж періоду 1964–1986 років для господарсько-питного і протипожежного водопостачання. На 2019 р. згідно заявленого водокористування підземні води (заявлена потреба – 300,0 тис. м<sup>3</sup>/рік або 821,9 м<sup>3</sup>/добу; фактична –  $Q_{\text{рік}}=180$  тис. м<sup>3</sup>/рік або  $Q_{\text{доб.сеп.}}=493,2$  м<sup>3</sup>/добу) призначені виключно для господарсько-питного водопостачання населення і установ (Висновок Південно-Української гідрогеологічної експедиції Причорноморського ДРГП, № 31 від 16 червня 2011 р; дозвіл на спеціальне водокористування, виданий Державним управлінням охорони навколишнього природного середовища в Херсонській області № Укр 6984-ХРС від 16 червня 2011 р., термін дії дозволу до 1 квітня 2014 року).

Система водопостачання смт Верхній Рогачик проектувалася, поетапно споруджувалася, частково реконструювалася як система багатофункціонального призначення (комунально-питного, виробничого і протипожежного водопостачання). За об'єктивних причин вона трансформувалася в однофункціональну для вирішення виключно комунально-побутових проблем, при цьому у два рази знизилася річна витрата і знизився вільний напір, що не відповідає вимогам БНіП 2.04.02-84. Існуюча система на сьогодні складається із 8 локальних водопроводів, схема яких водозабір-водоводи-розподільча мережа. Забір води із підземного водоносного горизонту здійснюється 17 свердловинами, які є на балансі у водокористувача. Параметри свердловин представлено в додатку.

Згідно з даними комунального підприємства «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик» (у подальшому КП «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик») за проектом водозабірні споруди (свердловини) розміщуються окремо по селищу і за його межами на території зон санітарної охорони суворого режиму. Свердловини за строк їх експлуатації ремонтувалися і модернізувалися відповідно до вимог того часу (зміна структури і кількості водоспоживачів, підвищення рівня вимог до надання послуг щодо водозабезпечення і т. д).

Перші пояси зон санітарної охорони свердловин відсутні і тільки два водозабора мають залишки огороження. На території ЗСО свердловин в якості напірно-регулюючих споруд розташовано 13 водонапірних башт місткістю від 10,0 м<sup>3</sup> до 50 м<sup>3</sup> і різною висотою стовбура, технічні характеристики яких зведено в додатку.

Відповідно до матеріалів КП «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик загальна протяжність водопровідної мережі становить 65,705 км: в робочому стані 62,99 км, 2,715 км потребують капітального ремонту. Паспортні дані щодо існуючої зовнішньої трубопровідної мережі – діаметри труб і довжини ділянок надані в додатку.

Вода подається цілодобово, але під час ліквідації аварій або капітального ремонту вода подається згідно графіку. Заміна деяких ділянок водопровідної мережі здійснюється неефективно із-за недостатнього рівня фінансування.

В результаті реконструкції аварійних ділянок водопровідної мережі господарським способом було прокладено нові поліетиленові трубопроводи

$d=100$  і  $d=110$  мм загальною довжиною 8970 м. На ділянці 27-Т-13 – (ПЕ –  $d=100$  мм); 6-9, 12-55, 15-16, 17-18, 18-19, 19-Т-7, 31-32, 43-св.5-83, 44-Т-25, 44-45, 45-46 – (ПЕ –  $d=110$  мм).

Відновлення водопровідних мереж значно відстає від їх фактичного зносу. Втрати води в системі водопостачання селища становлять 27,75 %. З кожним роком на мережах селищного водопроводу збільшується кількість аварій і поривів. Наприклад, за даними КП «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик», у 2020 році кількість аварій на водозаборах сягнула 144 випадків, на водопровідній мережі – 108 і на водонапірних баштах – 7 випадків.

У 2020 році фактичне загальне водоспоживання (реалізовано водоспоживачам) складає  $Q_{\text{рнч.}}=130,1$  тис.  $\text{м}^3/\text{рік}$  або  $Q_{\text{доб.сєр.}}=474,86$   $\text{м}^3/\text{добу}$ , а насосними агрегатами піднято 180 тис.  $\text{м}^3/\text{рік}$ . Тринадцять робочих свердловин потенціально можуть подати в мережі 2198,4  $\text{м}^3/\text{добу}$ , тому свердловини використовуються не на повну потужність.

Слід звернути увагу на те, що максимальна глибина свердловин становить 89,0 м. по вул Жовтнева і мінімальна – 45,0 м по вул. Ювілейна.

На підприємстві не впроваджувалися, але планується впровадити заходи, що забезпечуватимуть економію електроенергії за рахунок наближення режиму подачі води насосом до режиму відбору води споживачами.

Усі свердловини працюють в постійному режимі згідно графіку подачі води, тому режим витрачання електроенергії є економічно неефективним. Особливо це стосується насосів ЕВВ6-6,3-110, розміщених в свердловинах № 5-35, № 5-36 і № 5-69, рекомендований дебіт яких відповідно становить 4,0, 4,0 і 3,0  $\text{м}^3/\text{год}$ . За технічним паспортом насос ЕВВ6-6,3-110 в оптимальному режимі може забезпечити витрату води 6,3  $\text{м}^3/\text{год}$ , тоді як рекомендований дебіт не перевищує 4,0  $\text{м}^3/\text{год}$ , тобто – у 1,6 разів перевищує можливості свердловини. Усі свердловинні насоси є високонапірними – 110–140 м, що в умовах значних перепадів рельєфу місцевості створює аварійні ситуації на мережі, особливо у години мінімального водоспоживання.

Прилади обліку води (лічильники) виміру напору (манометри) на напірних трубопроводах свердловин на період обстеження відсутні. Все це унеможлиблює об'єктивно управляти експлуатаційним процесом і оцінювати водний баланс окремих зон (локальних систем) і децентралізованої системи водопостачання в цілому.

Згідно з матеріалами комунального підприємства загальна витрата електроенергії насосними станціями за 2019 р. становить 299,88 тис. кВт/рік, питома витрата електроенергії – 1,67 кВт/м<sup>3</sup>.

Конструкції водозаборів ідентичні – із підземними павільйонами. В якості прикладу на рис. 2 ілюстровано переріз і арматура павільйонів існуючих водозаборів з підземним павільйоном.

Огородження перших поясів зон санітарної охорони свердловин майже зруйноване і потребують часткового або повного відновлення. Території ЗСО свердловин потребують постійного обслуговування, висновок щодо їх технічного стану зведено до таблиці 2 ілюстровано.

Комунікації із сталевих труб потребують реконструкції так як вони зносилися. Основними недоліками сучасного стану свердловин є:

1. Переважно із 17-ти працездатних артезіанських свердловин встановлено технічно застарілі (з низьким КПД) високонапірні насоси. Існуючі насоси ЕВВ не у всіх випадках забезпечують визначені гідравлічним розрахунком витрати та напори в диктуючих точках водопровідної мережі. Ця ситуація є причиною

частих аварій і відказів насосів, їх перегрівання, перевантаження і, як наслідок, виходу з ладу, зниження ефективності і надійності роботи системи водопостачання в цілому. Ремонт насосів потребує коштів і часу, від цього потерпає населення (відсутність якісного водопостачання), а експлуатуюче підприємство терпить збитки.

2. На більшості свердловин необхідно замінити водопідйомні колони та вихідні напірні трубопроводи. Технічний стан оголовка і арматури водозаборів підлягають заміні (рис. 3).

3. Манометри потребують заміни, лічильники води відсутні, що унеможливає об'єктивно здійснювати моніторинг водного балансу водопровідної системи.



*Рис. 2. Водозабір № 5-70 із підземного джерела з підземним павільйоном*



*Рис. 3. Технічний стан оголовка і арматури водозаборів № 5-115, 5-110*

4. Колодязі і споруди (рис. 4) на території санітарних зон суворого режиму всіх свердловин не відповідають вимогам.



*Рис. 4. Технічний стан споруди для розміщення щита управління роботою насосного обладнання водозаборів*

5. Всі огорожі 1-го поясу санітарних зон суворого режиму підземних водозаборів потребують відновлення.

6. Фізичний знос або відсутність арматури (засувки, зворотні клапани) унеможливує нормальну експлуатацію водозаборів, що призводить до частих аварійних ситуацій (рис. 5).



*Рис. 5. Технічний стан підземного павільйону: на напірному трубопроводі відсутні зворотній клапан, засувка і лічильник води*

**Висновки та пропозиції.** 1. Схему водопостачання для селища міського типу Верхній Рогачик розроблено на основі «Методичних рекомендацій» на період 2021–2024 рр.

2. Враховуючи результати виконаних розрахунків, рекомендовано до впровадження схему, якою передбачено модернізацію існуючої системи децентралізованого водопостачання (8 локальних систем водопостачання) і перспективний розвиток до децентралізованої системи водопостачання (дві локальні системи) з оптимізацією технологічних можливостей. Розподіл системи водопостачання на дві локальні забезпечать розрахунковий тиск в найнижчих точках рельєфу території смт Верхній Рогачак ( $<0,6$  МПа).

3. Виконання технічних, адміністративних та організаційних заходів розвитку системи водопостачання може максимально підвищити ефективність існуючої системи. Технічні заходи включають в себе:

– Модернізацію існуючих водозаборів №№ 5-36, 5-115, 5-70, 5-110, 5-83, 5-117, 5-32 і 5-25 (N=8 свердловин), шляхом будівництва колодязя і розміщення в ньому облікового обладнання поданої води. Під час реконструкції необхідно передбачити такі системи контролю та управління, які дозволять працювати водозабірним спорудам в автоматичному режимі із сигналізацією про порушення їх роботи на диспетчерський пункт КП «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик». Це дозволить зменшити чисельність обслуговуючого персоналу. З метою підвищення ефективності роботи занурених насосів рекомендується обладнати насосні агрегати 8 свердловин №№ 5-36, 5-115, 5-70, 5-110, 5-83, 5-117, 5-32 і 5-25 перетворювачами частот і відновити ЗСО цих свердловин.

– Водозабірні свердловини системи водопостачання необхідно обладнати приладами обліку води і можливістю підключення цих приладів до пристрою збору і передачі даних.

– У перспективі для ефективної і надійної роботи системи водопостачання селища необхідно щорічно, крім заміни труб на аварійних ділянках, проводити планову заміну трубопроводів на нові з оптимальними діаметрами, обґрунтованими гідравлічними розрахунками.

– Впровадження заходів по забезпеченню економного використання питної води безпосередньо абонентами шляхом установлення кожним абонентом у житловому будинку вузла обліку води.

– На мережі в 52 вузлах установити засувки, що розділять її на ремонтні ділянки.

– Використовуючи інноваційні технології відновлення водопровідної мережі, економічно обґрунтованими виявилися технології реконструкції магістральних ділянок мережі труб санацією методом «труба в трубу»:

• Очистити від твердих відкладень чавунні труби водопровідної мережі загальною довжиною 35 460 м, із них: труби  $d_{\text{ум.}}=50$  мм – 16 580 м,  $d_{\text{ум.}}=75$  мм – 3925 м,  $d_{\text{ум.}}=100$  мм – 8535 м,  $d_{\text{ум.}}=125$  мм – 6270 м,  $d_{\text{ум.}}=200$  мм – 150 м;

• Реконструювати магістральні ділянки труб санацією методом «труба в трубу» без руйнування старих чавунних труб ( $d_{\text{ум.}}=100$  мм, довжина 530 м), поліетиленових ( $d_{\text{ум.}}=110$  мм, довжина 825 м), азбестоцементних ( $d_{\text{ум.}}=100$  мм, довжина 410 м) і сталевих труб ( $d_{\text{ум.}}=100$  мм, довжина 450 м) і заміною їх на поліетиленові ПЕ80,  $d=90$  мм, SDR 11 загальною довжиною 2215 м;

• Реконструювати магістральні ділянки старих сталевих труб ( $d_{\text{ум.}}=76$  мм довжиною 1425 м) і чавунних труб ( $d_{\text{ум.}}=50$  мм довжиною 1365 м) санацією

методом «труба в трубу» з їх руйнуванням і заміною на поліетиленові трубами ПЕ80, d=90 мм, SDR 11 загальною довжиною 2790 м.

– Побудувати нові ділянки трубопроводів із поліетиленових труб ПЕ80, d=90 мм, SDR11 загальною довжиною 4495 м.

4. Реалізація адміністративних заходів полягає в:

– Координації місцевих програм з метою самофінансування проектів.

– Використанні адміністративних ресурсів та важелів (пільги, штрафи, посилення вимог, спрямованих на заохочення суб'єктів водоспоживання підвищувати ефективність збереження води).

– Забезпеченні джерел фінансування заходів (державний і місцевий бюджети, інвестиції, кредити) щодо оптимізації роботи системи водопостачання.

5. Реалізація організаційних заходів полягає в:

– Розрахунку і затвердженні економічно обґрунтованих тарифів для населення та інших споживачів.

– Наданні абонентам прозорої інформації щодо фінансово-економічної діяльності комунального підприємства і якості керівних рішень стосовно системи водопостачання.

– Підключенні об'єктів вибіркового будівництва в різних районах селища до діючої водопровідної мережі, що пов'язано з надлишком установленої питомої витрати з підземного джерела питної води й роботою водопровідної мережі в гідравлічному режимі значно нижчому від оптимального.

– Створенні такого комунального підприємства, яке забезпечить надійне постачання споживачам питної води, акумулювання та ефективне використання матеріальних і фінансових ресурсів для реконструкції, модернізації системи водопостачання, централізоване управління доставкою води споживачам різних категорій. Розрахунки зі споживачами за поставлену воду проводить КП «Водопровідно-каналізаційне господарство селища Верхній Рогачик». Система єдиного тарифу для відповідних категорій споживачів залишається без зміни.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Розробка галузевих стратегій та програм водопостачання, водовідведення та санітарії в об'єднаних територіальних громадах : методичний посібник / В. І. Козак, О. О. Козлюк. К. : DESPRO, 2019. 62 с. URL: [https://despro.org.ua/library/publication/rozg\\_galuz\\_strateg\\_2019.pdf](https://despro.org.ua/library/publication/rozg_galuz_strateg_2019.pdf) (дата звернення: 10.05.2023).

2. Безпальченко В. М. Водопостачання та водовідведення херсонської області: стан, проблеми, першочергові заходи. *Науково-практичний журнал Екологічні науки* № 2(29). Т. 2 URL: [http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/2/part\\_2/12.pdf](http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/2/part_2/12.pdf) (дата звернення: 10.05.2023).

3. Адамовська В. С. Механізм державного регулювання економіки та вибір напряму економічної політики в сучасних умовах господарювання. *Державне управління: удосконалення та розвиток* № 4 2017. *Журнал Державне управління: удосконалення та розвиток – наукове фахове видання з питань державного управління*. URL: <http://www.dy.nauka.com.ua/> (дата звернення: 10.05.2023).

4. Стратегія розвитку водної політики України – Водна Стратегія. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [https://mepr.gov.ua/files/KMU\\_Water%20Strategy\\_new.pdf](https://mepr.gov.ua/files/KMU_Water%20Strategy_new.pdf) (дата звернення: 10.05.2023).

5. Верхній Рогачик. Віртуальний проект «Краєзнавство Таврії». ХОУНБ ім. О. Гончара. URL: <https://krai.lib.kherson.ua/litopis-verhnerogachik.htm> (дата звернення: 10.05.2023).

6. Білявцев В. Я. Верхній Рогачик. *Енциклопедія Сучасної України: електронна версія* / гол. редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін. ; НАН

України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2005. URL: [https://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=33662](https://esu.com.ua/search_articles.php?id=33662) (дата звернення: 10.05.2023).

#### REFERENCES:

1. Rozrobka haluzevykh stratehiy ta prohram vodopostachannya, vodovidvedennya ta sanitariyi v obyednanykh terytorialnykh hromadakh: metodychnyy posibnyk / V.I.Kozak, O.O.Kozlyuk. K. : DESPRO, (2019). 62 s. URL: [https://despro.org.ua/library/publication/rozzr\\_galuz\\_strateg\\_2019.pdf](https://despro.org.ua/library/publication/rozzr_galuz_strateg_2019.pdf) (data zvernennya: 10.05.2023). [in Ukrainian].
2. Bezpalchenko V. M. Vodopostachannya ta vodovidvedennya khersonskoyi oblasti: stan, problemy, pershocherhovi zakhody. Holovna. *Naukovo-praktychnyy zhurnal Ekolohichni nauky* № 2(29). T. 2 URL: [http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/2/part\\_2/12.pdf](http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/2/part_2/12.pdf) (data zvernennya: 10.05.2023) [in Ukrainian].
3. Adamovska V. S.(2017). Mekhanizm derzhavnoho rehulyuvannya ekonomiky ta vybir napryamu ekonomichnoyi polityky v suchasnykh umovakh hospodaryuvannya. *Derzhavne upravlinnya: udoskonalennya ta rozvytok*. № 4. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/> (data zvernennya: 10.05.2023) [in Ukrainian].
4. Stratehiya rozvytku vodnoyi polityky Ukrayiny – Vodna Stratehiya. Ministerstvo zakhystu dovyillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny. URL: [https://mepr.gov.ua/files/KMU\\_Water%20Strategy\\_new.pdf](https://mepr.gov.ua/files/KMU_Water%20Strategy_new.pdf) (data zvernennya: 10.05.2023) [in Ukrainian].
5. Verkhniy Rohachyk. Virtualnyy proekt “Krayeznavstvo Tavriyi”. KHOUNB im. O. Honchara. URL: <https://krai.lib.kherson.ua/litopis-verhnerogachik.htm> (data zvernennya: 10.05.2023) [in Ukrainian].
6. Bilyavtsev V. YA. Verkhniy Rohachyk (2005). *Entsyklopediya Suchasnoyi Ukrayiny: elektronna versiya* / hol. redkol.: I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovskyy, M. H. Zheleznyak ta in.; NAN Ukrayiny, NTSH. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrayiny, URL: [https://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=33662](https://esu.com.ua/search_articles.php?id=33662) (data zvernennya: 10.05.2023) [in Ukrainian].

УДК 338.242:658.26  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.2.28>

## ЕКО-ДИЗАЙН ТА СУЧАСНІ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗАКЛАДАХ ГОСТИННОСТІ

**Терешкін О. Г.** – доктор технічних наук,  
професор кафедри міжнародної електронної комерції  
та готельно-ресторанної справи  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
ORCID ID: 0000-0002-5265-4087  
Scopus Autor ID: 57193026138

**Дуб В. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу  
й іноземних мов  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-2078-4426  
Scopus Autor ID: 57221327426

**Горєлков Д. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри міжнародної електронної комерції  
та готельно-ресторанної справи  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
ORCID ID: 0000-0002-9315-9322

Екологічний дизайн пред'являє високі вимоги до раціонального використання електрики, і пошук нових, екологічно чистих джерел енергії для життєзабезпечення закладів гостинності. На стадії розробки концептуальних рішень готелю необхідно враховувати, як використання енергозберігаючих матеріалів на стадії будівництва та оздоблювання, так і використання обладнання, що дозволить виробляти альтернативну енергію без шкоди для довкілля. Для економії енергоресурсів та створення комфортних умов для перебування гостей в готелі є перехід закладів гостинності на автономне функціонування систем життєзабезпечення.

Прогресивні технології дозволяють суттєво скоротити витрати на ресурсне забезпечення закладу, а саме електродний нагрів є перспективним для застосування в закладах гостинності як повноцінний вид опалення. Електродний нагрів при використанні, в якості виду опалення, є перспективним у поєднанні з альтернативними джерелами електроенергії – вітрогенераторами або сонячними панелями. Завдяки своїй універсальності конструкції котел може бути адаптовано до використання у мережі з напругою 220 В. У той час, коли традиційні електричні котли потребують підведення силової мережі 380 В. Інноваційна розробка орієнтована на створення повністю автоматизованого незалежного готелю, функціонування якого не залежить від постачальників електроенергії, палива, опалення та мінливих цін на них. Застосування інноваційних енерго- та ресурсозберігаючих технологій підвищує конкурентоздатність, інвестиційну привабливість та імідж закладу, якість надаваних послуг, що відповідно гарантує залучення уваги засобів масової інформації та потенційних споживачів.

**Ключові слова:** екологічний дизайн, довкілля, екологія, ресурсозбереження, енергоефективність, електродний нагрів, парогенератор.

**Tereshkin O. G., Dub V. V., Gorelkov D. V. Eco-design and modern resource-saving technologies in hospitality institutions**

Ecological design makes high demands on the rational use of electricity, and the search for new, environmentally friendly energy sources for the life support of hospitality establishments. At the stage of developing the hotel's conceptual solutions, it is necessary to take into account both the use of energy-saving materials at the stage of construction and finishing, and the use



*of equipment that will allow producing alternative energy without harming the environment. In order to save energy resources and create comfortable conditions for the stay of guests in the hotel, there is a transition of hospitality establishments to the autonomous functioning of life support systems and the creation of energy management services.*

*Progressive technologies make it possible to significantly reduce costs for resource provision of the institution, namely, electrode heating is promising for use in hospitality institutions as a full-fledged type of heating. Electrode heating when used as a type of heating is promising in combination with alternative sources of electricity – wind generators or solar panels. Due to its universal design, the boiler can be adapted for use in a network with a voltage of 220 V. At a time when traditional electric boilers require a 380 V power supply. The innovative development is aimed at creating a fully automated independent hotel, the operation of which does not depend on suppliers of electricity, fuel, heating and their variable prices. The use of innovative energy- and resource-saving technologies increases the competitiveness, investment attractiveness and image of the institution, the quality of the services provided, which accordingly guarantees the attention of mass media and potential consumers.*

**Key words:** *ecological design, environment, ecology, resource conservation, energy efficiency, electrode heating, steam generator.*

**Постановка проблеми.** Проблематика ресурсозбереження та забезпечення енергоефективності готелів є актуальною у зв'язку з високими витратами енергії у величині собівартості готельних послуг та постійним зростанням цін на енергоносії. Експлуатація будівлі готелю та його енергозабезпечення приводять до забруднення і виснаження ресурсів. Бажано відобразити проблеми екологізації споживання та шляхи їх вирішення в сучасному дизайні.

Енергозбереження відрізняється від енергоефективності, яке стосується використання меншої кількості енергії за надання тієї самої послуги. Хоч енергозбереження і зменшує споживання енергетичних послуг, його результатом може бути підвищення якості довілля, національного добробуту, та особистої фінансової безпеки. Енергоефективність – раціональне використання енергетичних ресурсів для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення будівель.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням питань енергозбереження як економічної категорії займалися такі вчені: Г.А. Соколовська, А.А. Андрижисвський, П.А. Костюченко, О.Л. Данілов, Д.В. Зеркалов, В.В. Стадник, М.А. Йохна та ін. Енергетичний менеджмент на підприємствах українськими вченими досліджений недостатньо. Цією проблематикою займалися О.В. Мороз, Н.П. Карачина, А.В. Праховник, М.М. Зінь, О.С. Штанько, В.А. Жовтянський, О.М. Суходоля, С.М. Іншеков, Ю.Б. Підгайний, Є.А. Шторгін, М.М. Кулик, Б.С. Стогний, Ю.І. Шульга та ін. Серед зарубіжних авторів, які займалися проблематикою ресурсозбереження, слід зазначити наукові праці таких вчених: К. Палмер, Ж. Ричард, Дж. Твайдел, К. Гіллінгем, А. Сассон, С. Фрімантл, А. Уер та ін. Проблема енергозбереження не може бути успішно вирішена тільки завдяки технічним засобам. Приділено увагу щодо питання екологічного дизайну, який не заперечує використання сучасної техніки та обладнання, але пред'являє високі вимоги до енергозбереження. Недостатньо досліджені принципи застосування екологічної стилістики до всіх аспектів діяльності людини і раціонального використання електрики, і пошуку нових, екологічно чистих засобів перетворення енергії для життєзабезпечення закладів готельного господарства.

**Мета дослідження.** Привнести естетичну наповненість предметному середовищу із поліпшенням його функціональних та естетичних властивостей з орієнтацією на найновіші матеріали і ресурсозберігаючі технології. Враховувати та поєднати модні тенденції еко-дизайну, екологічні вимоги широкого кола споживачів і використання обладнання для автономного функціонування систем опалення без шкоди для довілля.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Екологічний підхід у дизайні – один із напрямів всесвітнього екологічного руху, в завдання якого входить охорона і відновлення довкілля. Сенс екологічного підходу в дизайні – створення продукції, сумісної з навколишнім середовищем, а саме зниження і повне усунення негативного впливу на природу за допомогою використання альтернативних ресурсів і енергії, а також нетоксичних, вже перероблених матеріалів та відновлювальних процесів виробництва, максимальну економію ресурсів і матеріалів, можливість їх утилізації після закінчення терміну служби. Це комплексна і повноцінна інтелектуальна діяльність, яка реалізується в об'єктах проєктування для зближення вимог природного середовища з споживчими і естетичними вимогами людини.

Екологічний дизайн починається з глибокого розуміння людей, яким він призначений, та ставить перед собою за мету створення оптимальних умов задоволення людських потреб, не порушуючи при цьому рівноваги навколишнього середовища, коли дотримується принцип екології 3R (reduce, reuse, recycle – скорочувати, повторно використовувати, переробляти).

Завданнями екологічного дизайну є:

- вдосконалення екологічної ситуації шляхом створення продуктів, що відповідають вимогам природи, людини і культури;
- пошук гармонії між вдосконаленням форми і функції об'єктів дизайну та дотриманням принципів екологічного підходу;
- перегляд матеріалів і технологій за екологічними нормами;
- формування нової культури споживання, структури потреб, заснованих на скороченні надлишкової кількості продуктів;
- цілеспрямована зміна ціннісних установок суспільства за допомогою художніх образів об'єктів дизайну.

Відмінною рисою екологічного дизайну, що виділяє його серед інших видів проєктно-художньої діяльності, є його орієнтація на інновації. Закони ринку вимагають постійного пошуку швидкого впровадження у виробництво найостанніших науково-технічних досягнень, новітніх матеріалів і технологій, спрямованих на забезпечення екологічної чистоти конструкційних та оздоблювальних матеріалів, що застосовуються для виготовлення об'єктів дизайну, екологічності процесів виробництва і споживання з урахуванням проблеми утилізації та переробки відходів і стану предметно-просторового середовища. Це багатогранна діяльність, в якій враховуються вимоги природного середовища, естетики та культури.

Прогресивні технології дозволяють суттєво скоротити витрати на ресурсне забезпечення закладу. Підчас проєктування закладу ресторанного господарства необхідно враховувати тренди енергоефективного виробництва, зберігання харчових продуктів та інші його особливості [1, 2]. На стадії проєктування готелю необхідно враховувати, як використання енергозберігаючих матеріалів на стадії будівництва та оздоблювання, так і використання обладнання, що дозволить виробляти альтернативну енергію без шкоди для довкілля.

З метою покращення екологічного стану довкілля, економії паливно-енергетичних ресурсів, подальшого підвищення коефіцієнта ефективності перетворення енергії, у тому числі за рахунок відмови від будівництва зовнішніх теплових мереж, застосовуються геліосистеми та вітроустановки у комплексі з теплогенераторами для систем опалення, гарячого водопостачання як житлових, так і виробничих приміщень комплексу. Облаштування готелю геліосистемою дозволить майже повністю задовольнити потреби в електричній енергії. Вітрогенератори перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну енергію. За наявності

поблизу моря або річки доречно використовувати гідроенергію для міні-гідроелектричних станцій. В цілях економії, безпеки та збереження екологічного стану навколишнього середовища можна запропонувати систему геотермального опалення будівлі (за такої можливості). Геотермальна система опалення є ідеальним способом зниження енергетичних витрат. Вона є екологічно чистою, без шкідливих токсичних викидів, оскільки використовує природне тепло землі. Можливе оснащення готелю обладнанням із вбудованими п'єзоелектричними генераторами, які працюють на принципі перетворення кінетичної енергії в електричну, водоочисними приладами, які живляться від сонячних батарей і здатними очищати воду, кранами з водозберігаючими насадками, змішувачами в душових кабінах з дрібним дифузorzом та інша спеціальна сантехніка для зберігання води. Необхідно згадати і про все більш широке використання автомобілів з альтернативними двигунами для їзди по території і за межами готелю.

Щодо енергоефективності висуваються наступні вимоги: інформування з цього питання персоналу готелю та його залучення до процесу охорони природного середовища; в якості додаткових послуг постояльцям пропонується екологічна просвіта для набуття знань щодо зниження шкідливого персонального впливу на довкілля; енергозбереження; збереження водних ресурсів; підвищення ефективності опалення приміщень за рахунок особливих технологій рециркуляції теплових потоків; встановлення терморегуляторів і термодатчиків; ініціативи з озеленення готелю; застосування екологічних мийних засобів; зниження обсягу використання пластику та паперу; зниження обсягу відходів у ресторані, компостування; впровадження системи утилізації відходів на основі ензимних препаратів.

Більшість людей використовують поліетиленові пакети, як тару, мішки для сміття, упаковку і т.і. Менш як 1 % поліетиленових пакетів переробляється, решта потрапляє на сміттєзвалища, забруднює ґрунти, ліси, річки та моря, завдає непоправної шкоди екології. Переробка пляшки з пластика може дати електроенергії, достатньої для 6-ти годинної роботи лампочки в 60 ватт. Рециклінг відходів пластмас здатний заощадити близько 2/3 енергії, яка потрібна для виробництва пластику. Щороку в розвинених країнах світу з'являється заборона на використання тари із пластика. Останньою порадувала Україна, яка весною 2021 року ввела заборону на виробництво і реалізацію пластикових пакетів. 33 країни повністю заборонили використання та обіг деяких поліетиленових пакетів. 53 країни ввели часткову заборону або податок на поліетиленові пакети. Нарешті й Україна долучилася до розв'язання цієї проблеми та сказала пластиковим пакетам – Ні.

В Україні ресурсозберігаючі технології розвинуті доволі слабо. Причинами цього є незрілість української економіки, недостатня конкуренція на ринку послуг, висока вартість енергозберігаючих систем, фінансова неспроможність власників підприємств, виникнення підвищених ризиків, орієнтація власників закладів на швидкий прибуток. Крім цього, ситуація посилюється недосконалою законодавчою базою для вирішення цих питань, слабким механізмом стимулювання впровадження енергозберігаючих технологій та відсутності часу та можливостей у закладах гостинності займатись питанням економічного витрачання енергоресурсів. Управління енергоспоживанням ставить основною задачею зниження витрат на енергоресурси при забезпеченні необхідної їх кількості та якості. В нинішній економічній та екологічній ситуації спостерігається енергетична криза. В зв'язку з цим готельєри та ресторатори шукають будь-які шляхи для економії енергоресурсів та створити комфортні умови для перебування гостей в готелі, не вийшовши за рамки бюджету та не зашкодивши обладнанню.

Найочевиднішою відповіддю є перехід закладів гостинності на автономне функціонування систем життєзабезпечення.

Функціонування сучасних закладів готельно-ресторанного господарства не можливе без застосування інноваційних технічних засобів їх життєзабезпечення. Під системами життєзабезпечення сучасних закладів гостинності розуміють складний комплекс комунікацій енергетичних потоків, а саме: опалення та підігрів води, вентиляція та кондиціонування, водозабезпечення та відвід каналізаційних стоків, освітлення та постачання холоду, функціонування теплового обладнання в ресторанному господарстві.

З урахуванням сучасних тенденцій, напрямлених на розвиток енергозберігаючих технологій – застосування вітрогенераторів, сонячних генераторів, теплових насосів, не менш важливим завданням є застосування енергозберігаючого обладнання в системі готельно-ресторанного господарства. Основними видами енергоспоживання в закладах готельної індустрії є системи опалення, які на теперішній використовують в основному в якості енергоносія газове паливо або електричну енергію. Незважаючи на значну вартість газу, як енергоносія, цей вид палива залишається найбільш ефективним видом палива у порівнянні з електричними нагрівом. Обумовлено це вищим ККД газових апаратів, їх більшим ресурсом роботи у порівнянні з електричними. Хоча слід відзначити, що використання газових апаратів є зручним і ефективним у великих підприємствах готельної індустрії, які розташовані поблизу до систем газопостачання. Проте, використання малих систем опалення у віддалених підприємствах від мережі, на кшталт санаторіїв, кемпінгів, мотелів та ін. застосування газового опалення є іноді технічно неможливим і не рентабельним. В таких випадках більшість підприємств застосовують електричні види опалення на підприємстві, що звісно призводить до значного зростання витрат на комунальні послуги та негативно впливає на розвиток закладу взагалі. Якщо зважити на технічні особливості застосування електричного обігріву приміщень в готелях, то очевидно є необхідність улаштування окремого котельного приміщення, електрощитової, а іноді і відокремленої електричної підстанції. Особливістю використання електричного нагріву в опалювальних системах є інерційність, тобто її тривалий вихід на режим нагріву. Всі ці складові неодмінно потребують значних матеріальних та людських ресурсів на всіх етапах розвитку підприємства – починаючи з етапу проектування і закінчуючи повсякденним функціонуванням. Крім того, слід відзначити вразливість систем електропостачання від природних явищ, що також накладає певні складності та витрати. Але, незважаючи на низку складних питань, пов'язаних із застосуванням електричних опалювальних систем у готельному господарстві, електричний нагрів все ж таки є перспективним для розвитку і застосування. Перспективність може бути реалізована за рахунок застосування принципово нових теплогенеруючих електричних пристроїв, які б мали швидкий час розігріву, значний ККД, компактні розміри, простоту та зручність монтажу та обслуговування, значний експлуатаційний ресурс, можливість застосування на підприємствах різної потужності.

Парогенератори, як електричні теплові прилади, мають наступні переваги: вони дешевші, ніж парогенератори, що працюють на органічному паливі, екологічно безпечніші, мають менші габарити та масу і є простішими під час установки та експлуатації.

У сучасних електричних парогенераторах використовуються наступні способи нагрівання: ТЕНовий, індукційний та електродний. У ТЕНових парогенераторах для кип'ятіння застосовуються трубчасті нагрівальні елементи (ТЕНи). Оболонку

ТЕНів виготовляють із матеріалів, що не забруднюють воду, наприклад із нержавіючої сталі, що дозволяє одержати досить чисту пару, яку можна використовувати безпосередньо в контакт з продуктами. Ще одна перевага ТЕН-х парогенераторів – ефективне нагрівання води будь-якої електропровідності. До основних недоліків таких приладів можна віднести інтенсивне відкладення солей (накипу) на поверхні ТЕНів, що може привести до їх перегорання, збільшення тривалості технологічного процесу та інше. В індукційних парогенераторах вода нагрівається за допомогою високочастотного випромінювання за відсутності прямого контакту води й нагрівального елемента (випромінювача). До недоліків цих приладів відносяться їх висока собівартість й рівень енергоспоживання. Тому індукційні парогенератори використовують тільки в тих випадках, коли необхідна пара «медичної» якості. В електродних на відміну від ТЕН-х, електроди не можуть перегоріти, і випадання осаду на них є незначним (температура електродів майже не відрізняється від температури води). Крім того, більшість електродних парогенераторів має менші габарити й вартість, на відміну від ТЕН-х аналогічної потужності [3, с. 214–232].

Тому виникла необхідність проведення експериментальних досліджень процесу пароутворення електродним способом та їх аналізу.

З метою підвищення енергоефективності було проведено аналітичний огляд існуючого устаткування, розглянуто чинники що впливають на ефективність пароутворення. Було визначено, що найменші затрати матеріалів під час виготовлення та енерговитрати під час експлуатації мають електродні парогенератори. За результатами проведених експериментальних досліджень процесу електродного пароутворення з метою впровадження енергоефективного обладнання нами розроблено електродний нагрівач (рис. 1) [4; 5].

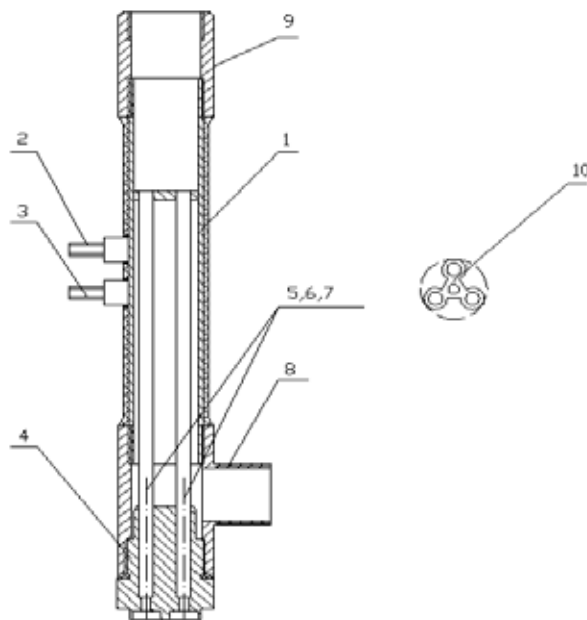


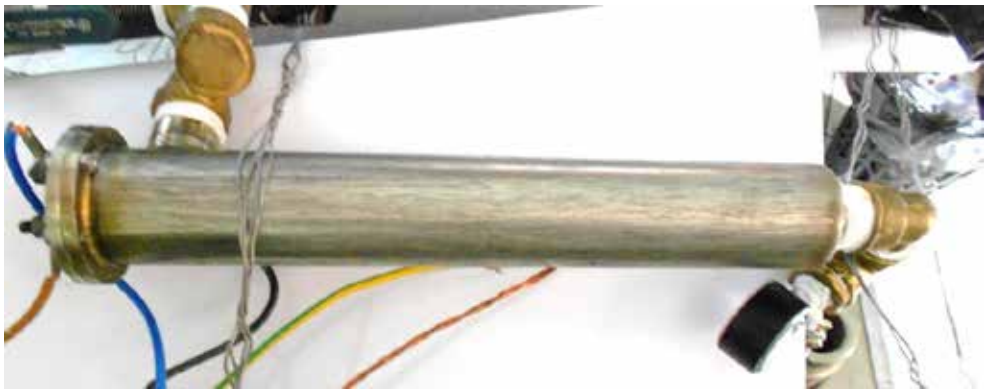
Рис. 1. Пристрій електродний для пароутворення:

1 – корпус; 2 – нульовий контакт; 3 – заземлюючий контакт; 4 – блок фазних електродів;  
5, 6, 7 – електроди; 8 – вхідний патрубок; 9 – вихідний патрубок; 10 – ізолятор

Для підвищення ефективності роботи нагрівача, інтенсифікації нагріву води, зниження енерговитрат та металоемності котел електродний містить корпус 1, на кінцях якого виконано зовнішня різьба, з метою з'єднання з системами трубопроводів будь якого діаметра, також на боці корпусу 1 під кутом  $90^\circ$  до вхідного патрубку 8 на одній вертикалі виконані нульовий контакт 2 і заземлюючий контакт 3. В точці нульового контакту 2 виникає найбільше електростатичне поле, що дає можливість створити турбулентний рух теплоносія.

Котел, який працює від мережі живлення, як 220 В так 380 В, містить блок фазних електродів 4, виконаний із трьох електродів 5, 6, 7, які ізолюють від корпусу діелектричним ізолятором, який в свою чергу, виконує роль фіксатора в середині корпусу і встановлено в нижній частині котла таким чином, щоб теплоносій з вхідного патрубку 8 омивав електроди по всій їх довжині, чим виключається можливість утворення «мертвої» зони – зони перегріву теплоносія та забезпечується швидке відведення нагрітої рідини через вихідний патрубок 9. В середині котла електроди ізолюють від корпусу 1 діелектричним ізолятором 10, який також виконує роль фіксатора у середині корпусу.

Пристрій працює наступним чином. Рідина потрапляє до корпусу 1 через вхідний патрубок 8 і омиває три фазні електроди 5, 6, 7, які закріплені в блоці електродів 4. Після приєднання фазних електродів та нульового контакту 2 і до контакту заземлення 3 при вмиканні живлення між електродами 5, 6, 7 та нульовим контактом 2 утворюється змінне електричне поле, яке викликає нагрів рідини. Нагріта рідина, за рахунок конвекції, підіймається вверх по корпусу 1 до вихідного патрубку 9. З метою запобігання замикання електродів 5, 6, 7 на корпус 1 та надійної фіксації вони додатково ізолюються від корпусу ізолятором 10, який виконано таким чином, щоб не перешкоджати вільному руху нагрітої рідини. Зовнішній вигляд експериментального зразка пристрою електродного для пароутворення наведено на (рис. 2).



*Рис. 2. Експериментальний зразок пристрою електродного для пароутворення*

Пристрій електродний для пароутворення відрізняється від існуючих аналогів тим, що з метою підвищення ефективності роботи нагрівача та надання можливості його широкого застосування у системах нагріву води, зниження енерговитрат та металоемності, може працювати від мережі живлення, як 220 В так 380 В. Під час експлуатації пристрій не потребує використання води із домішками

для запобігання утворення накипу. Універсальна конструкція розробленого пристрою дозволяє використовувати його в якості парогенератора для технологічного устаткування.

Процес нагрівання теплоносія в електродному котлі відбувається за рахунок його іонізації, тобто розщеплення молекул теплоносія на позитивні й негативні заряджені іони, які рухаються, відповідно, до негативного й позитивного електродів, виділяючи при цьому енергію. У такий спосіб процес нагрівання теплоносія йде прямо, без «посередника» (наприклад ТЕНа), тому головною особливістю всіх електродних парогенераторів є дуже високий (порядку 96...98 %) коефіцієнт корисної дії.

Основними перевагами електролітичного нагрівання є простота пристрою нагрівача, практично необмежений термін служби електродів, відсутність небезпеки їхнього перегорання при зниженні рівня електроліту, тому що в цьому випадку, їхня потужність знижується до нуля. Зміною рівня рідини, тобто величини омиваної поверхні електродів, можна регулювати тепловий режим в апаратах. Таким чином, при електролітичному нагріванні відпадає необхідність мати в апаратах автоматичний захист від сухого ходу.

Переваги електродного пристрою перед іншими теплогенеруючими пристроями:

- ККД електродних котлів набагато вище, ніж ККД котлів з іншими видами палива, і досягає до 98 % від витраченої енергії;
- завдяки малому водяному обсягу й високому ККД пристрій швидко запускається й виходить на робочий режим протягом 10...15 хвилин, котел легкий у керуванні;
- завдяки своїй конструкції електродний котел зручний й простий в експлуатації, обслуговуванні й ремонті;
- завдяки спеціальному сплаву, з якого виготовлено електроди, суттєво подовжено термін їхньої експлуатації в робочому режимі.

Всі вище наведені переваги роблять електродний нагрів цікавим та перспективним для застосування в закладах гостинності як повноцінний вид опалення. Застосування цього виду опалення надає можливість гнучкого регулювання витрат теплоносія за рахунок низької інерційності, зменшення площі технічних приміщень за рахунок компактності електродних котлів, заощадити на сервісних роботах.

**Висновки і пропозиції.** Електродний нагрів при використанні, в якості виду опалення, є перспективним у поєднанні з альтернативними джерелами електроенергії – вітрогенераторами або сонячними панелями. Завдяки своїй універсальності конструкції котел може бути адаптовано до використання у мережі з напругою 220 В. У той час, коли традиційні електричні котли потребують підведення силової мережі 380 В.

Інноваційна розробка орієнтована на створення повністю автоматизованого незалежного готелю. За принципом самозабезпечення, можна побудувати систему розводки опалення таким чином, що в період відсутності гостей в окремих номерах опалення буде вимикатися, а при заїзді – включатися та моментально нагрівати площу номеру, гарантувати при цьому комфортні умови для життя. Крім того, поєднання даної системи опалення з датчиками smart-house дозволить економити ще більше електроенергії в період відсутності споживачів в номері. Простота технології полягає в легкості експлуатації – керувати роботою системи опалення може адміністратор front desk або навіть сам гість через спеціальну програму в смартфоні або універсальний пульт.

Проект поєднання технологій автономного електродного опалення та генераторів альтернативної енергії дозволить забезпечувати всі потреби готелю в електроенергії та опаленні. Таким чином, досягається зменшення витрат готелю на забезпечення його функціонування. При цьому використання технологій “smart-house” та принцип екологічності гарантує залучення уваги засобів масової інформації і привабить до готелю широке коло нових споживачів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Крамаренко Д.П., Гіренко Н.І., Товма Л.Ф. Повноцінне харчування: тренди енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу : колективна монографія. Харків, 2020. С. 207–253.
2. Дуб В.В., Терешкін О.Г., Горелков Д.В. Інжиніринг у ресторанному господарстві : навч. посіб. Харків : Друкарня Мадрид, 2017. 176 с.
3. Терешкін О.Г., Горелков Д.В. Енергозберігаюче інноваційне обладнання життєзабезпечення закладів готельно-ресторанного господарства. *Сучасні тенденції розвитку готельно-ресторанного бізнесу : міжнародний та національний досвід* : колективна монографія / за заг. ред. А. Ю. Парфіненка. Харків, 2017. С. 214–232.
4. Електродний парогенератор: пат. 60669 Україна, МПК F22В 1/30, F22В 27/00, В02С 23/00. № 201014434 ; заявл. 02.12.2010 ; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
5. Терешкін О. Г., Балик О. В. Енергозберігаючі технології в харчовій промисловості // Стратегія якості в промисловості та освіті : Міжнар. конф. – Varna, Bulgaria, Proceedings volume I (P.1), International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus Special number Dnipropetrovsk, Varna, 2010. В 4-х томах, Т. 1 (Ч. 2). С. 37–39.

### REFERENCES:

1. Kramarenko D., Girenko N., Tovma L. (2020). Whole food: trends in energy-efficient production, storage and marketing. (207–253). Kharkiv : NANTU
2. Dub V., Tereshkin O., Horyelkov D. (2017). Engineering in the restaurant business. Kharkiv : Drukarnya Madryd
3. Tereshkin O., Horyelkov D. (2017) Enerhozberihayuचे innovatsiyne obladnannya zhyttyezabezpechennya zakladiv hotelno-restorannoho hospodarstva. A. Parfinenko (Ed.), Kolektyvna monohrafiya “Suchasni tendentsiyi rozvytku hotelno-restorannoho biznesu : mizhnarodnyy ta natsionalnyy dosvid”. (214–232). Kharkiv : KHNU imeni V. N. Karazina
4. Deynychenko H., Tereshkin O., Horyelkov D., Balyk O. (2011). Elektrodnyy parahenerator. (Pat. Ukrayina 60669) <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=160400>
5. Tereshkin O., Balyk O. (2010). Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi v kharchoviyi promyslovosti. International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus Special number Dnipropetrovsk, v 4-kh tomakh, T. 1. CH. 2. 37–39.



## ЗМІСТ

<b>КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	3
<b>Бугасєва І. Г., Розум М. В., Ларін Д. Г., Ткаченко М. Г.</b> Управління транзакціями в мікросервісній архітектурі.....	3
<b>Гайдай Г. Ю., Грєшнов А. Ю.</b> Підвищення рівня ефективності використання електричної енергії освітлювальними приладами.....	14
<b>Гакман Д. В., Антоненко А. В.</b> Особливості розробки та використання фреймворків для автоматизованого тестування.....	21
<b>Горбань Г. В., Кандиба І. О., Фісун М. Т.</b> Первинна обробка даних результатів спортивних тренувань студентів на веслувальних тренажерах Concept2 для подальшого аналізу за допомогою бібліотеки Pандас.....	33
<b>Дуднік А. С., Квашук Д. М., Жихарєв С. М.</b> Методи вимірювання обертальних моментів електродвигунів з використанням штучних нейронних мереж.....	45
<b>Завгородній В. В., Завгородня Г. А., Дацюк Д. І., Карась О. О.</b> Розробка методології до проектування багатокористувацьких рольових ігор.....	56
<b>Zavodiannyi V. V.</b> Refinement of microstructural parameters of the crystal structure of compound Ba <sup>2</sup> MoO <sup>5</sup> .....	63
<b>Зубенко В. О., Березюк І. А., Телюта Р. В.</b> Обґрунтування шляхів удосконалення методів завадостійкого кодування.....	68
<b>Кошова О. П., Ольховська О. В., Тацій Д. С., Олексійчук Ю. Ф., Черненко О. О.</b> Розробка веб-додатків та сервісів на платформі Node.js.....	78
<b>Литвиненко В. М., Пекур Д. В., Шутов С. В.</b> Моделювання процесів росту силіцидів нікелю при формуванні омичних контактів до напівпровідникових приладів.....	90
<b>Nechvoloda L. V., Shevchenko N. Yu.</b> Increasing the efficiency of it project management with the application complex methodology distribution of performers for work.....	98
<b>Остапченко К. Б., Борукаєв З. Х., Євдокімов В. А.</b> Методика побудови моделі оперативного прогнозування показників стану ринку електричної енергії (цін та обсягів).....	106
<b>Sgadov S. O.</b> Computer modeling of hydrogen inducted mass transfer in semiconductors.....	118
<b>Тихоход В. О.</b> Особливості реалізації засобів дослідження інтегральних моделей в системі MATLAB.....	128
<b>Чепок Р. В.</b> Методика використання комп'ютерних технологій в процесі виконання розрахунково-графічних робіт одноступінчастих редукторів.....	140

<b>ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	149
<b>Antonenko A. V., Brovenko T. V., Zemlina Ju. V., Kryvoruchko M. Yu., Tolok G. A., Vasilenko O. V.</b> Features of microwave heating equipment in the hotel and restaurant business and food industry .....	149
<b>Варнавська І. В.</b> Кейс-метод у формуванні комунікативної компетентності студентів технологічного напрямку (спеціальність 181 Харчові технології) на заняттях з української мови (за професійним спрямуванням) .....	157
<b>Горач О. О., Олейникова С. О.</b> Розвиток інноваційних технологій створення продуктів харчування нового покоління .....	164
<b>Деменюк О. М., Грабовська О. В., Сабадаш Н. І.</b> Інтенсифікація процесу ферментативної конверсії крохмалю з метою одержання мальтину .....	170
<b>Дзюба Н. А., Дубина А. А., Нотевський Є. В., Дзюба Ю. О.</b> Визначення нутрієнтних, мікробіологічних та сенсорних показників якості білково-вуглеводних батончиків для військових .....	181
<b>Любич В. В., Єремєєва О. А.</b> Удосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно .....	197
<b>Новікова Н. В., Єфимова А. Л., Лещик О. А.</b> Вивчення харчової та біологічної цінності пресервів покращеної якості.....	204
<b>Озоліна С. О., Антіпіна О. О.</b> Експертна оцінка купажу на основі кукурудзяної і лляної олій .....	210
<b>Очеретна А. В., Фролова Н. Е.</b> Технологія отримання масляно-пряних сумішей на основі страусинового жиру .....	219
<b>Ходаков О. Л., Саркісян Г. О., Сугаченко Т. С., Мельник І. В., Мірошніченко О. М., Тараненко О. Г., Ткаченко Л. О.</b> Вдосконалення технологічних режимів виробництва вин стилю amber wine в умовах Одеського регіону .....	228
<b>ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	239
<b>Ладичук Д. О., Ладичук В. Д.</b> Пристрій для регулювання водно-теплого режиму ґрунтів .....	239
<b>БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ</b> .....	245
<b>Волошин М. М.</b> Особливості розробки об'єктів будівництва та їх реконструкції централізованого водопостачання в селищі міського типу Верхній Рогачик Каховського району Херсонської області .....	245
<b>Терешкін О. Г., Дуб В. В., Горєлков Д. В.</b> Еко-дизайн та сучасні ресурсозберігаючі технології в закладах гостинності .....	256

## CONTENTS

<b>COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY</b> .....	3
<b>Buhaieva I. H., Rozum M. V., Larin D. H., Tkachenko M. H.</b> Transaction management in microservice architecture.....	3
<b>Haidai H. Yu., Hrieshnov A. Yu.</b> Increasing the efficiency level in the use of electrical energy by lighting devices .....	14
<b>Hakman D. V., Antonenko A. V.</b> Features of the development and use of frameworks for automated testing .....	21
<b>Horban H. V., Kandyba I. O., Fisun M. T.</b> Primary data processing of students' sports training results on rowing simulators Concept2 for further analysis using the Pandas library.....	33
<b>Dudnik A. S., Kvashuk D. M., Zhikhariev S. M.</b> Methods of measuring torques of electric motors using artificial neural networks.....	45
<b>Zavgorodnii V. V., Zavgorodnya A. A., Datsyuk D. I., Karas' O. O.</b> Development of methodology for designing multi-user role-playing games .....	56
<b>Zavodiannyi V. V.</b> Refinement of microstructural parameters of the crystal structure of compound $Ba_2MoO_5$ .....	63
<b>Zubenko V. O., Bereziuk I. A., Teliuta R. V.</b> Substantiation of ways to improve the methods of noise-resistant coding.....	68
<b>Koshova O. P., Olkhovska O. V., Tatsii D. S., Oleksiichuk Yu. F., Chernenko O. O.</b> Development of web-applications and services powered by Node.js.....	78
<b>Lytvynenko V. M., Pekur D. V., Shutov S. V.</b> Simulation of nickel silicide growth processes during the formation of ohmic contacts to semiconductor devices .....	90
<b>Nechvoloda L. V., Shevchenko N. Yu.</b> Increasing the efficiency of it project management with the application complex methodology distribution of performers for work.....	98
<b>Ostapchenko K. B., Borukaiev Z. Kh., Evdokimov V. A.</b> Methodology for building an operational forecasting model of electricity market state indicators (prices, volumes).....	106
<b>Sgadov S. O.</b> Computer modeling of hydrogen inducted mass transfer in semiconductors .....	118
<b>Tykhokhod V. O.</b> Features of the implementation of integral models research tools in the MATLAB system.....	128
<b>Chepok R. V.</b> Methods of using computer technologies in the process of performing calculation and graphics of single-stage reducers .....	140
<b>FOOD TECHNOLOGY</b> .....	149
<b>Antonenko A. V., Brovenko T. V., Zemlina Ju. V., Kryvoruchko M. Yu., Tolok G. A., Vasilenko O. V.</b> Features of microwave heating equipment in the hotel and restaurant business and food industry .....	149
<b>Varnavska I. V.</b> A case method in the formation of communicative competence of students of the technological direction (specialty 181 Food technologies) in Ukrainian language classes (by professional direction) .....	157

<b>Gorach O. O., Oleinikova S. O.</b> Development of innovative technologies for the creation of new generation food products .....	164
<b>Demenyuk O. M., Hrabovska O. V., Sabadash N. I.</b> The intensification of the process of enzymatic conversion of starch with the purpose of obtaining maltin .....	170
<b>Dzyuba N. A., Dubyna A. A., Notevskiy E. V., Dzyuba Yu. O.</b> Determination of nutrient, microbiological and sensory quality indicators of protein and carbohydrate bars for military .....	181
<b>Liubych V. V., Yermeeva O. A.</b> Improvement of the technological process of wheat grain grinding into flour .....	197
<b>Novikova N. V., Yefimova A. L., Lechchuk O. F.</b> Study of the nutritional and biological value of improved quality preserves .....	204
<b>Osolina S. O., Antipina O. O.</b> Expert assessment of blend based on corn and linseed oils .....	210
<b>Ocheretna A. V., Frolova N. E.</b> Technology of obtaining oil-spice mixtures based on ostrich fat .....	219
<b>Khodakov O. L., Sarkisian G. O., Suhachenko T. S., Melnyk I. V., Miroshnychenko O. M., Taranenko O. G., Tkachenko L. O.</b> Improvement of technological modes of amber wine's production at the Odessa region's conditions .....	228
<b>HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES</b> .....	239
<b>Ladychuk D. O., Ladychuk V. D.</b> Device for regulation water-thermal regime of soils .....	239
<b>CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING</b> .....	245
<b>Voloshyn M. M.</b> Features of development of construction objects and their reconstruction of centralized water supply in the urban-type village of Verkhniy Rogachyk, Kakhovsky District, Kherson Region .....	245
<b>Tereshkin O. G., Dub V. V., Gorelkov D. V.</b> Eco-design and modern resource-saving technologies in hospitality institutions .....	256

---

## НОТАТКИ

# **Таврійський науковий вісник**

## **Випуск 2**

### **Технічні науки**

Підписано до друку 03.07.2023 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 21,94. Зам. № 0823/478

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
Україна, м. Одеса, 65101, вул. Інглєзі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.