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

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет

Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 3

Видавничий дім
«Гельветика»
2022

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

Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету (протокол № 9 від 23.06.2022 року)

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 3. 220 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; **Гопеєнко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., профессор (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-екномічного 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; **Турченюк В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

© Херсонський державний аграрно-економічний університет, 2022

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 004.75
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.1

ЛОКАЛЬНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПО WI-FI З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Артюхов В. Г. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри системного проектування
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-1752-9106

Британов О. А. *– старший викладач кафедри системного проектування*
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-5944-703X

Гіоргізова-Гай В. Ш. – *кандидат технічних наук,*
доцент кафедри системного проектування
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-6224-3532

Кірюша Б. А. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри системного проектування
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-7343-1387

Стіканов В. Ю. *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,*
доцент кафедри системного проектування
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-9908-9591

Титоренко О. В. *– магістр з комп'ютерних наук*
кафедри системного проектування
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-4121-5609

Системи відстеження розташування всередині приміщень за допомогою Wi-Fi (Wi-Fi Positioning System – WPS) знаходять все більше застосування в багатьох сферах господарства для моніторингу розташування людей і активів.

В статті приведено огляд методів, які застосовуються в сучасних комерційних системах внутрішнього пасивного позиціонування за допомогою Wi-Fi (Wi-Fi Positioning System – WPS). На основі проведеного аналізу робиться висновок, що більшість WPS для визначення місцеположення об'єктів спостереження використовують вимірювання інтенсивності прийнятого сигналу (RSSI). Основною перевагою метода є використання вже розгорнутої Wi-Fi мережі і відсутність необхідності у додатковому обладнанні. Однак подальший аналіз алгоритмів позиціонування на базі RSSI, показує, що всі вони для забезпечення достатньої для практичних задач точності висувають до існуючої інфраструктури Wi-Fi мережі додаткові вимоги. А ці вимоги потребують досить значних додаткових витрат на модернізацію інфраструктури.

Пропонується підхід до побудови WPS на основі використання IoT модулів в якості прослуховуючих пристроїв Wi-Fi мережі, які працюють у режимі постійного моніторингу її каналів. Підхід дозволяє зменшити додаткові витрати на систему позиціонування завдяки відсутності додаткових вимог до існуючої мережевої інфраструктури і її обладнання.

В статті описано архітектуру прототипу системи позиціонування. Для побудови прототипу системи було обрано: Wi-Fi модуль ESP8266, мікроконтролер Arduino Uno та Ethernet модуль ENC28J60. Після аналізу пакету створюється json файл зі структурованими даними, які містять значення RSSI, MAC-адресу ТД і відправника. Далі ці дані передаються через послідовний порт мікроконтролеру Arduino, який відправляє їх на сервер за допомогою модуля ENC28J60. Для визначення місцеположення об'єктів спостереження обрано метод побудови радіо карти приміщення і метод K найближчих сусідів (KNN). У функції серверу входить збір, обробка і збереження даних від мікроконтролерів, обробка запитів оператора, побудова радіо карти, позиціонування об'єктів та їх відображення на плані приміщення. Експерименти, проведені на прототипі системи позиціонування показали, що запропонований підхід дозволяє забезпечити можливості позиціонування, аналогічні системам на базі точок доступу.

Ключові слова: *системи локального позиціонування, бездротові мережі Wi-Fi, ідентифікатор потужності сигналу RSSI, радіо карта, методи позиціонування, прослуховування радіоефіру, Wi-Fi модулі Інтернету речей.*

Artuhov V. G., Brytov O. A., Hiorhizova-Hai V. S., Kyriusha B. A., Stikanov V. J., Tytorenko A. V. Wi-Fi indoor positioning using microcontrollers

Indoor Wi-Fi Positioning Systems (WPS) are used in many areas of the economy to monitor the location of people and assets.

The paper provides an overview of the methods that are used in modern commercial positioning systems. Based on the analysis, it was concluded that most WPS use received signal strength measurement (RSSI) to find out the location of observation objects. The main advantage of this method is the use of an existing Wi-Fi network with no additional equipment. However, further analysis of positioning algorithms based on RSSI shows that all of them impose additional requirements on the existing Wi-Fi network infrastructure to ensure accuracy sufficient for practical tasks. And these requirements impose significant additional costs for infrastructure modernization.

An approach is proposed for building a WPS based on the use of IoT modules as Wi-Fi network listening devices that operate in the mode of continuous monitoring of its channels. This approach allows to reduce additional costs for the positioning system due to the absence of additional requirements for the existing network infrastructure and its equipment.

The paper describes the architecture of the positioning system prototype based on a microcontrollers. The ESP8266 Wi-Fi module, Arduino Uno microcontroller and ENC28J60 Ethernet module were chosen to build a prototype system. The ESP8266 module tapes Wi-Fi client packets and parses them. After parsing a packet, a json file is created with structured data that contains the RSSI values, the AP MAC address, the sender MAC address and the timestamp. Next, the data is transmitted via the serial port to the Arduino microcontroller, which sends it to the server using the ENC28J60 module. To determine the location of observation objects, the method for building a radio map of the room and the method of K nearest neighbors (KNN) were chosen. The functions of the server include collecting, processing and storing data from microcontrollers, processing operator requests, building a radio map, positioning objects and displaying them on the floor plan.

Experiments carried out on a prototype positioning system showed that the proposed approach provides location capabilities similar to systems based on access points.

Key words: *indoor positioning systems, Wi-Fi wireless networks, RSSI signal strength identifier, radio map, positioning methods, network traffic sniffing, Wi-Fi modules of the Internet of Things.*

Вступ. Завдяки широкому розповсюдженню мобільних пристроїв системи відстеження розташування всередині приміщень за допомогою Wi-Fi (Wi-Fi Positioning System – WPS) знаходять все більше застосування у різних господарських сферах, таких як торгівля, логістика, промислове виробництво, управління персоналом, охорона здоров'я, безпека та багато інших. На їх основі будуються різноманітні додатки для моніторингу місцезнаходження людей і активів, для збору та обробки аналітичних даних, для залучення клієнтів та оптимізації маркетингових стратегій на підприємствах, в торгових центрах, офісах, виставках, музеях.

Такі системи розділяють на активні, коли мобільний клієнт за допомогою встановленого на ньому додатка визначає своє місцеположення, та пасивні, коли система визначає місцеположення об'єктів спостереження. Дана стаття орієнтована на пасивні системи локалізації.

Популярності побудови систем позиціонування на основі технології Wi-Fi сприяє її поширеність, можливість використання готової мережної інфраструктури, значна зона покриття (близько 100м), можливість позиціонування як усередині приміщень так і зовні, легкість масштабування та обслуговування, можливість комбінування з іншими технологіями (наприклад, Bluetooth) для підвищення точності. Додавання точок доступу Bluetooth, радіус дії яких менше, ніж у Wi-Fi, дозволяє коригувати оцінки координат об'єктів у тих зонах, де оцінка Wi-Fi виявляється занадто грубою.

Відомі комерційні WPS-системи [1-7] працюють за принципом визначення координат клієнтських пристроїв за допомогою Wi-Fi точок доступу (ТД), розташування яких заздалегідь відоме. ТД приймають радіосигнали від клієнтських пристроїв, вимірюють їх параметри, такі як потужність отриманого сигналу (RSS), час поширення сигналу на відстань від джерела до приймача (TOA) або кут прибуття сигналу від джерела до приймача (AOA). Положення мобільного пристрою відносно точок доступу можна отримати з цих даних. В залежності від застосованого методу вимірювання ТД передають відповідні параметри радіосигналів клієнтів разом з їх MAC-адресами та часовими відмітками вимірів на центральний сервер. Далі алгоритми позиціонування обробляють показники розташування та оцінює інформацію про місцезнаходження. Нарешті, система відображення перетворює інформацію про місцезнаходження у відповідний формат для візуалізації на плані приміщення або для аналітичної обробки [1].

З огляду на складну природу внутрішнього середовища, розробка техніки локалізації в приміщенні завжди пов'язана з рядом проблем, таких як непряма видимість, багатопроменеве розповсюдження (при відбитті сигналів перешкодами та інтерференції), шумові перешкоди та інші фактори. Вплив перешкод, таких як стіни, двері, обладнання, рух людей, радіо перешкоди від сторонніх пристроїв, призводять до нерівномірного розповсюдження радіосигналів всередині приміщення. Для подолання цих проблем в системах внутрішньої локалізації реалізуються різні методи і підходи, які впливають на їх складність, продуктивність і вартість.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Методи позиціонування

Методи, які використовуються для задач позиціонування в сучасних WPS-системах [1-7], представлені в таблиці 1. Для досягнення вищої точності локалізації об'єктів системи позиціонування можуть комбінувати кілька методів для компенсації слабких сторін одного з них перевагами іншого. Наприклад, відома система Stanley/healthcare використовує для локалізації методи TOA і RSSI.

Таблиця 1

Методи, що застосовуються в системах позиціонування

Метод	Принцип позиціонування	Точність	Додаткові вимоги до обладнання	Особливості
Received Signal Strength indicator (RSSI)	Оцінка розташування визначається на підставі потужності прийнятого сигналу	Загалом середня. В залежності від алгоритмів і розташування ТД може наближатись до високої і низької.	Немає	З використанням радіо карт мало вразливий до впливу багатопроменевого розповсюдження сигналу і непрямої видимості. Вразливий до затінення, коливань потужності сигналу в часі, низького відношення сигнал/шум.
Angle of Arrival (AoA)	Оцінка розташування будується у межах площі трикутника, одержуваного внаслідок перетину осей спрямованості антен трьох найближчих БС. Основою визначення напрямку, в якому знаходиться об'єкт є різниця фаз хвиль, які приймаються масивом антен, рознесених на фіксовану відстань.	Загалом висока. Від високої до середньої.	Потребує спеціальні антенні решітки на ТД. Але потрібна менша кількість ТД.	Вразливий до впливу багатопроменевого згасання сигналу, тому краще працює в умовах прямої видимості.
Методи на основі вимірювання часу Time of Flight (ToF)	Оцінка розташування визначається на підставі визначення відстаней між об'єктом та точками доступу. Оцінка відстані базується на часі розповсюдження сигналу між об'єктом і ТД, який розраховується по міткам часу в пакетах запитів і відповідей.	Від високої до середньої	Деякі методи потребують синхронізації годинників об'єкта і ТД (ToA – Time of Arrival) або всіх ТД (TDoA -Time Difference of Arrival). Стандарт IEEE 802.11.mc (FTM/ RTT – Fine Time Measurement/ Round Time Trip) не потребує синхронізації, але потрібна підтримка стандарту об'єктом і ТД.	Вразливі до впливу багатопроменевого розповсюдження сигналу і наявності предметів на шляху сигналу, матеріал яких збільшує час розповсюдження сигналу. Тому особливо ефективні в умовах прямої видимості на відкритих площадках та у великих приміщеннях. Створюють додаткове навантаження на ТД.

Варто зауважити, що точність методів залежить від їх реалізації в конкретних системах позиціонування, використовуваних алгоритмів обробки даних, кількості і розташування ТД, середовища проведення експериментів (ідеальності умов проведення експериментів). Тому в таблиці 1 будемо використовувати такі оцінки точності: висока – похибка 1-2 м і менше, середня – похибка 3-5 м, низька – похибка 5-10 м і більше.

Системи на базі методів AoA і ToF можуть забезпечити більшу точність позиціонування ніж на базі RSSI. Але на сьогодні реалізація AoA потребує додаткового коштовного апаратного забезпечення, а впровадження стандарту IEEE 802.11.mc просувається дуже повільно і потребує встановлення ТД топ рівня та реалізації повної версії протоколу на мобільних пристроях, чого поки ще немає [4]. Тому більшість систем покладаються на методику на основі RSSI, яка також може забезпечити хорошу точність позиціонування для багатьох практичних застосувань і реалізується дешевше.

Локалізація на основі RSSI

Принцип локалізації з використанням RSSI полягає у встановленні відповідності між місцем розташування об'єкту та його RSSI. Проте рівень RSS зменшується з відстанню між передавачем і приймачем нелінійно, особливо в приміщенні через багатопроменеве розповсюдження. RSS чутливий до затінення (локальні середні втрати під час поширення сигналу), низького співвідношення сигнал/шум (SNR) та поширення в непрямій видимості (NLOS). Рух людей в приміщенні (оскільки тіло людини на 50% складається з води) і інші зовнішні впливи призводять до флуктуацій RSS у часі. Ці фактори негативно впливають на точність локалізації на основі RSSI.

Алгоритми позиціонування на основі RSSI

У літературі представлено багато алгоритмів локалізації на основі RSSI, серед яких можна виділити: алгоритми на основі моделі поширення сигналу, метод радіочастотного зняття відбитків пальців, позиціонування на основі близькості та ймовірнісна оцінка [2; 3].

Місцеположення на основі близькості

Це простий підхід, який дає уявлення про те, що мобільний телефон знаходиться у межах зони покриття певної точки доступу, якщо він до неї підключений. Якщо зона покриття точки доступу невелика і зони сусідніх ТД перетинаються, така інформація допомагає звузити області можливого розташування об'єкту і в подальшому скоротити обсяг роботи більш точних алгоритмів локалізації.

Місцеположення на основі моделі поширення сигналу

Локалізація з використанням цього підходу включає два етапи. На першому етапі розраховуються відстані Di між мобільним пристроєм і як мінімум трьома ТД, розташування яких відоме. Для цього точки доступу роблять виміри RSSI прийнятих від об'єкту сигналів. Відстань від об'єкту до ТД вираховується за допомогою рівнянь, які описують залежність між затуханням потужності сигналу і відстанню. На наступному етапі за допомогою алгоритмів латерації визначається місцеположення мобільного пристрою як точка або область перетину кіл з центрами у місцях розташування ТДі та радіусами, які дорівнюють Di.

Перевагою цього типу локалізації є простота реалізації. Проте різні середовища, точки доступу, апаратне забезпечення смартфонів можуть призвести до різних співвідношень в моделі поширення сигналу між вимірами RSSI та відстанями. Проблемою також є коливання RSSI в часі. Отже, точність та стабільність трилатераційного позиціонування обмежуються зовнішніми перешкодами

для сигналів Wi-Fi. А оскільки RSSI змінюється з відстанню нелінійно, то похибка оцінки відстані експоненційно збільшується з відстанню.

Умовами підвищення точності позиціонування є впевнений прийом клієнтом сигналів щонайменше від трьох ТД; збільшення щільності розташування ТД, які повинні розставлятися по периметру будівлі та у шаховому порядку; між трьома ТД та клієнтом бажана пряма видимість. Такі умови вимагають суттєвого збільшення вартості Wi-Fi інфраструктури організації, яка хоче використовувати її ще для задач позиціонування. При цьому точність позиціонування лежить у межах від 3,5 до 10 м [6].

Метод радіочастотних (RF) відбитків пальців

Оскільки побудова моделі поширення сигналу може виявитися важким завданням через складність внутрішнього середовища, метод RF відбитків пальців пропонує альтернативою підхід.

RF-дактилоскопія складається із двох етапів; офлайн-фаза та онлайн-фаза. У офлайн-фазі область приміщення покривається умовною сіткою. В клітинах сітки збирається багато RSSI з навколишніх точок доступу, які далі усереднюються для усунення часових флуктуацій сигналу. Усереднені значення RSSI з відповідним розташуванням (так звані опорні точки – RP) зберігаються в базі даних, яка називається Radio map. На етапі онлайн фази збираються вимірювання RSSI з невідомих місць. Ці вимірювання порівнюються з базою даних офлайн фази для визначення розташування об'єктів. Один з можливих методів визначення місця розташування об'єктів – оцінка найменшої евклідової відстані між вимірами з невідомих точок та підпростором радіо карти. Інші підходи визначення місцеположення засновані на різних методах машинного навчання. Рівень досягнутої точності залежить від того, скільки точок доступу і RP використовується. Типова точність 2-3м (наприклад, система RADAR [2]). Недоліком цього підходу є необхідність періодичного оновлення радіо карти для врахування змін радіо середовища, особливо при змінах у плануванні приміщення або кількості працюючих ТД.

Додавання більшої кількості RP покращить роздільну здатність, однак це збільшує трудовитрати. Додавання більшої кількості точок доступу зменшує можливість отримання неоднозначних результатів і покращує локалізацію. Також згідно опублікованих досліджень системи з невеликою кількістю RP можуть забезпечувати хорошу точність за наявності достатньої кількості точок доступу в системі.

Оцінка максимальної правдоподібності чи ймовірнісний

Цей підхід аналогічний RF- відбитків пальців, з тією відмінністю, що поведінка RSSI моделюється як випадкова величина. На етапі складання радіо карти на територію, що вивчається, наноситься умовна сітка. Далі вимірювання RSSI, зібрані з сітки, обробляються для отримання ймовірнісного розподілу поведінки сили сигналу в кожному місці. На етапі позиціонування збираються RSSI для кожного об'єкту з оточуючих ТД та зберігаються у векторах. Потім розташування мобільного пристрою виводиться на основі максимальної правдоподібності.

Алгоритм показує точний аналіз даних, проте вимагає великих обчислень. Також може використовуватися менша кількість RP, головною умовою є унікальність RF-покриття від ТД, оскільки точність позиціонування ґрунтується не тільки на силі, а й на різниці рівнів сигналів. Точність такі систем лежить у межах 1м – 3м (приклади – системи, Horus [5], Ekahau [7]). Для підвищення точності методика Ekahau додатково враховує попередню позицію об'єкту та можливий шлях його пересування на плані території закладу.

Частота вимірювань

Для застосувань, пов'язаних з аналізом переміщення об'єктів спостереження, таких як аналітика поведінки клієнтів, управління персоналом, навігація по приміщенню, надсилання повідомлень з урахуванням розташування клієнта та ін., важливо визначати місцеположення об'єктів у реальному часі. Точність позиціонування рухомих об'єктів визначається не тільки точністю застосовуваних методів і алгоритмів, а й частотою вимірювання і оновлення їх координат.

Для вимірювання RSSI клієнтів системи позиціонування широко використовують керуючі кадри (probe requests) протоколу IEEE 802.11 (Wi-Fi), які посилаються на максимальній потужності і на найнижчій швидкості передачі. Поки клієнтський пристрій не підключений до мережі, він періодично надсилає серії зондуючих кадрів (probe requests) послідовно по всіх RF каналах. Наприклад, повне сканування каналів на Android може зайняти 2,5–3,5 с [4].

Після отримання відповідей від точок доступу (probe response) клієнт підключається до ТД з найсильнішим сигналом і налаштовується на її RF канал. Перебуваючи у зоні впевненого прийому однієї ТД, пристрій все одно продовжує періодично відправляти на всі канали Probe request. При переміщенні клієнта частота зондування зазвичай збільшується, особливо безпосередньо перед процедурою роумінгу (переходу від ТД зі слабким сигналом до іншої ТД із сильним сигналом).

Отже, незалежно від підключення присутність пристрою може бути виявлена, поки він знаходиться в межах досяжності мережі і його WiFi-антена включена.

Інтервали запиту зондування сильно різняться залежно від типу пристроїв, ОС (iOS, Android та ін.), активності клієнта, режиму енергоспоживання, встановлених додатків, і можуть становити від 5-10 секунд до 10 хвилин. Коли підключений клієнт генерує трафік, інтервали між посилкою серій Probe Request в середньому складають 1 хв. При рівномірному переміщенні пристрою і перед його можливою процедурою роумінгу інтервали запитів зменшуються в середньому до 10-15 с. Для забезпечення локалізації у реальному часі при переміщенні об'єкту потрібно, щоб інтервали між вимірюваннями не перевищували значення подвійної похибки та були рівномірними. Якщо вважати, що для людини середня швидкість руху 5км/год (1.4 м/с), то для забезпечення точності позиціонування 3-5 м потрібно приблизно 4-7 с, для точності 5-10 м – потрібно 7- 14 с. Таким чином, в загальному випадку частота зондування Probe Request для позиціонування в реальному часі є недостатньою.

Для підвищення частоти визначення координат розробники Cisco реалізували метод позиціонування пристрою по трафіку даних (Data RSSI) для підключених користувачів. Система FastLocate дозволяє збільшити частоту вимірювань до 6-8 разів на хвилину, чого достатньо для встановлення маршруту переміщення клієнта. Інтервали сканування RF каналів при моніторингу можуть бути як рівномірними, так і різними (більший час витрачається на інфраструктурні канали) [8].

Вимоги до інфраструктури

Збір інформації для розрахунку координат об'єктів точками доступу вимагає, щоб вони, крім обслуговування клієнтів і моніторингу власного RF каналу, додатково здійснювали моніторинг сусідніх каналів власної мережі (для підключених користувачів) а також інших каналів (для непідключених користувачів). Для реалізації такого моніторингу можливі два варіанти. ТД має періодично виходити з режиму обслуговування своїх клієнтів (клієнти мають переключатись на інші ТД) та перемикатися в режим сканування інших каналів. Це реалізація на основі компромісу між певним зниженням продуктивності мережі і збільшенням

інтервалів для збору даних позиціонування. Більш оптимально сбір даних для позиціонування може бути реалізований з додаванням до інфраструктури мережі певної кількості спеціальних ТД з додатковим радіо модулем, який буде постійно в режимі моніторингу прослуховувати всі канали [6].

Попередній аналіз систем і алгоритмів позиціонування також показує, що всі вони висувають додаткові вимоги до наявної інфраструктури Wi-Fi мережі для забезпечення заявленої точності. Ці вимоги потрібують значного збільшення кількості ТД і щільності їх розташування. Вимога до розташування ТД по периметру приміщень призводить до неповного використання покриття точок доступу з круговими антенами та виходу сигналу за межі будівлі.

Таким чином, позиціонування, базоване на вимірюванні RSSI, хоч і використовує існуючу інфраструктури Wi-Fi мережі, але все одно потребує значних витрат на додаткове обладнання.

РЕАЛІЗАЦІЯ WPS З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Пропонується підхід до побудови WPS на основі недорогих мікроконтролерів, які можуть бути встановлені у потрібній кількості на периметрі приміщення, працювати у режимі постійного моніторингу, збирати виміри RSSI з об'єктів спостереження і відправляти їх на сервер системи позиціонування для визначення місцеположення об'єктів. Інфраструктурні ТД Wi-Fi мережі можуть працювати у звичайному режимі обслуговування клієнтів, додаткових вимог до їх апаратного і програмного забезпечення не висувається.

В залежності від задач і призначення системи позиціонування та потрібної точності визначення місцеположення об'єктів даний підхід дозволяє реалізувати в системі різні алгоритми, налаштувати різні часові інтервали між переключенням RF каналів при скануванні, різну частоту оновлення позицій об'єктів.

Прототип системи позиціонування

Було створено прототип системи позиціонування, орієнтованої на підключених клієнтів. Структура системи (рисунок 1) включає Wi-Fi мережу з ТД і клієнтськими пристроями, мікроконтролери, які перехоплюють пакети клієнтів, виконують розборку пакетів і передають дані на сервер позиціонування.

Рис. 1. Структура системи позиціонування

Функціонально сервер позиціонування складається з сервера для обробки Wi-Fi даних, який приймає і обробляє дані від мікроконтролерів на інтервалах вимірювання та зберігає їх у базі даних, сервера БД та веб-сервера, який оброблює запити оператора, використовується для налаштування плану приміщення, калібрування радіо карти, визначення місцезнаходження об'єктів та відображення їх на плані приміщення.

Для визначення місцеположення об'єктів було обрано метод RF відбитків пальців і метод K найближчих сусідів (KNN), який забезпечує за [2,9] гарну продуктивність і точність від середньої до високої.

Для побудови прототипу системи було обрано популярні IoT модулі: Wi-Fi модуль ESP8266 [10], Ethernet модуль ENC28J60 [11] та мікроконтролер Arduino Uno. Було обрано плату розробника Arduino UNO Wi-Fi R3 від RobotDyn [12] з вже встановленим на ній модулем ESP8266.

Для перехоплення пакетів IEEE 802.11 модуль ESP8266 налаштовується на безладний режим. Для аналізу полів отриманого пакету використовується функція зворотного виклику сніфера. Після розбору пакету створюється json файл зі структурованими даними (значення RSSI, MAC-адреса ТД і клієнта). Далі ці дані передаються через послідовний порт UART мікроконтролеру Arduino, який передає його на сервер за допомогою модуля ENC28J60.

Для підвищення кількості вимірювань від активних клієнтів перехоплюються пакети Probe Request і Data. Але, як було розглянуто раніше, пристрої, що знаходиться в сплячому режимі та не переміщуються, надсилають Probe Request зрідка (через 1 хв, 5 хв і навіть 9 хв. за нашими спостереженнями).

Вибір частоти вимірювань для системи позиціонування залежить від багатьох факторів: призначення системи, особливостей інфраструктури, типу клієнтів. Для визначення конкретних значень доцільно проводити експериментальні випробування системи в конкретних умовах застосування.

Робота системи складається з кількох етапів:

• Завантаження схеми приміщення і позначення на ньому місць розташування мікроконтролерів і внесення їх MAC адрес.

• Послідовне завантаження калібрувальних вимірів по точках радіо карти від мікроконтролерів. За одне вимірювання у точці карти потрібно отримати не менше 100 значень RSSI від тестового об'єкту. Після чого виміри від кожного мікроконтролера усереднюються і зберігаються. Для отримання більшої достовірності варто повторювати вимірювання в різні дні і різний час і усереднювати їх з попередніми.

• Позиціонування об'єктів спостереження на основі порівняння даних, отриманих від мікроконтролерів і побудованої радіо карти. Дані про місцеположення об'єктів можуть візуалізуватись на плані приміщення у реальному часі або зберігатись для подальшого аналізу.

Експериментальне випробування

Метою дослідження було порівняння результатів, отриманих за допомогою запропонованого підходу, з відомими системами на базі точок доступу. Тому мікроконтролери були розташовані біля ТД і відгравали роль додаткового радіо модуля для них.

Тестування роботи системи проводилось в приміщенні із 3-х кімнат, розділених коридором. В кімнатах знаходились електронні пристрої, м'які та дерев'яні меблі. Було налаштовано 3 Wi-Fi роутери TP-LINK Archer A9, (на рисунку 2 показано штриховими кружечками). Біля роутерів встановлено по мікроконтролеру та під'єднано до них по Ethernet. В якості об'єкта позиціонувати було взято смартфон Samsung Galaxy A20.

Модулі моніторингу послідовно з інтервалом 1,5 с обходять 3 інфраструктурні канали (1, 6 і 11), забезпечуючи інтервали між вимірюваннями RSSI 4,5с. Цей час має відповідати середній точності позиціонування для об'єктів, які пересуваються.

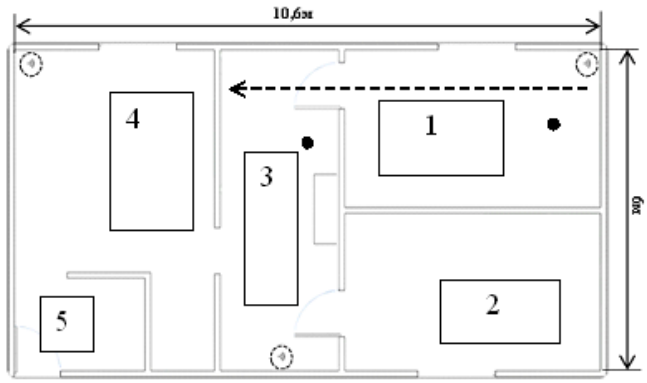


Рис. 2. План приміщення

Далі було створено макет приміщення і проведено калібрування радіо карти. Вимірювання проводились у вузлах умовної сітки 1,5 м х 1,5 м. На смартфоні, який використовується для досліду, було ввімкнено відео з Youtube для постійного передавання даних. При калібруванні смартфон знаходився на висоті 1 м від полу. Дистанція зберігалась у пікселях.

По результатах вимірювань видно, що зміна значень RSSI не завжди відповідає відстані від джерела і залежить від середовища. Як приклад, в таблиці 2 наведені усереднені значення RSSI від 700 вимірювань з лівого верхнього мікроконтролера для точок по горизонталі і вертикалі плану приміщення.

Таблиця 2

Результати вимірювань з лівого верхнього роутера

Відстань від роутера	Середнє значення RSSI
1 м вертикаль	-57.6271
2 м	-62.6551
3 м	-65.8900
4 м	-66.1984
1 м горизонталь	-53
2 м	-62
3 м	-56.5483
4 м	-61.9333

У випробуванні визначались позиції об’єкту у зонах приміщення, показаних на рисунку 2 прямокутниками 1-5. Варто зауважити, що через коливання потужності сигналу в часі вимірювання позиції навіть статичних об’єктів змінюються між інтервалами їх оновлення. Тому в таблиці 3 надано середні значення відхилень протягом 1 хв. Абсолютна похибка вимірювалася за такою формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{x_{\text{точки вимірювання}} * B_{\text{приміщення}}}{B_{\text{в пікселях}}} - \frac{x_{\text{результату}} * B_{\text{приміщення}}}{B_{\text{в пікселях}}}\right)^2 + \left(\frac{y_{\text{точки вимірювання}} * L_{\text{приміщення}}}{L_{\text{в пікселях}}} - \frac{y_{\text{результату}} * L_{\text{приміщення}}}{L_{\text{в пікселях}}}\right)^2} \quad (1)$$

Таблиця 3

Середні відхилення позиції об'єкту від реальної

Номер зони вимірювань	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
	2,1 м	2,2 м	1,4 м	3,1 м	1,7 м

Результати таблиці 3 показують відповідність аналогічним системам, побудованим на базі точок доступу. Чорними кружечками на рисунку 2 показано дві позиції, визначені під час переміщення телефону в напрямі стрілки, що дозволяє отримати уявлення про траєкторію пересування об'єкту і також вкладається в межі середньої точності аналогічних систем.

Висновки. Відомі комерційні системи позиціонування по Wi-Fi, хоча і базуються на наявній інфраструктурі мережі передачі даних, але для забезпечення прийнятної точності висувають до неї додаткові вимоги, які потребують досить значних додаткових витрат на її модернізацію.

Запропонований підхід на основі використання IoT модулів в якості прослуховуючих пристроїв Wi-Fi мережі дозволяє зменшити додаткові витрати на систему позиціонування завдяки відсутності додаткових вимог до існуючої мережевої інфраструктури і її обладнання. В той же час підхід дозволяє забезпечити можливості позиціонування, аналогічні системам на базі точок доступу.

Експерименти, проведені на прототипі системи позиціонування, мали на меті тільки показати принципові можливості запропонованого підходу у порівнянні з WPS на базі точок доступу. Для побудови комерційної системи потрібно проводити додаткові експериментальні дослідження для врахування різних факторів, які впливають на точність позиціонування в залежності від задач позиціонування, таких як вплив різних типів клієнтських пристроїв і масштабу і особливостей приміщення, підбір оптимальних алгоритмів і інтервалів вимірювань, підбір кількості і розташування прослуховуючих пристроїв та ін. Всі ці питання не є специфічними для запропонованого підходу, їм присвячено достатньо опублікованих досліджень, результати яких слід використовувати при побудові комерційної системи позиціонування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Khaoula Manna, Noura Benhadjyoussef, Mohsen Machhout, Jesus Urena. Location and Positioning Systems: Performance and Comparison. Proceedings of 2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT-2016) Tunisia, Hammamet, December, 16-18, 2016. 6 pages.

2. Huthaifa Obeidat, Wafa Shuaieb, Omar Obeidat, Raed Abd-Alhameed. A Review of Indoor Localization Techniques and Wireless Technologies. Published online: 19 February 2021. URL: https://link.springer.com/content/ pdf/10.1007/s11277-021-08209-5.pdf (Дата звернення 15.05.2022)

3. Zahid Farid, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail. Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System Journal of Computer Networks and Communications Volume 2013, Article ID 185138, 12 pages. URL: https://www.hindawi.com/journals/jcnc/2013/185138/ (Дата звернення 18.05.2022)

4. Horn Berthold K.P. Indoor Localization Using Uncooperative Wi-Fi Access Points. Sensors 2022, 22(8), 3091. URL: https://www.researchgate.net/publication/360055519_Indoor_Localization_Using_Uncooperative_Wi-Fi_Access_Points (Дата звернення 18.05.2022)

5. Youssef M., Agrawala A. The Horus WLAN Location Determination System. Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Ser-

vices (MobiSys 2005), June 6-8, 2005, Seattle, Washington, USA. 12 pages. URL: https://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/horus_usenix.pdf (Дата звернення 18.05.2022)

6. Cisco Meraki. Location Analytics. Jan 5, 2022 URL: https://documentation.meraki.com/MR/Monitoring_and_Reporting/Location_Analytics (Дата звернення 11.05.2022)

7. Ekahau. The Solution to Design, Validate, and Maintain High-Performing Wi-Fi. URL:https://www.ekahau.com/ (Дата звернення 05.05.2022)

8. Алексей Белоусов. Все о Cisco FastLocation. URL: https://habr.com/ru/post/311722/ (Дата звернення 10.04.2022)

9. Peng Dai, Yuan Yang, Manyi Wang, and Ruqiang Yan. Combination of DNN and Improved KNN for Indoor Location Fingerprinting. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2019, Article ID 4283857, 9 pages. URL: https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2019/4283857/ (Дата звернення 05.05.2022)

10. Marco Schwartz. Internet of Things with ESP8266. Packt Publishing, 2016, 226 pages.

11. Microchip. Microchip ENC28J60. URL: https://www.microchip.com/en-us/product/ENC28J60#document-table (дата звернення 20.05.2022).

12. МікроАмпер. RobotDyn UNO WIFI ESP2866 32Mb. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=864&gclid=EAIaIQobChMI06q0t_yO-AIVDNiyCh0sYwWGEAYYASABEgJMXvD_BwE (дата звернення 20.05.2022).

REFERENCES:

1. Khaoula Manna, Noura Benhadjyoussef, Mohsen Machhout, Jesus Urena. Location and Positioning Systems: Performance and Comparison. Proceedings of 2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT-2016) Tunisia, Hammamet, December, 16-18, 2016. 6 pages.

2. Huthaifa Obeidat, Wafa Shuaieb, Omar Obeidat, Raed Abd-Alhameed. A Review of Indoor Localization Techniques and Wireless Technologies. Published online: 19 February 2021. Retrieved from: https://link.springer.com/content/ pdf/10.1007/s11277-021-08209-5.pdf (accessed 15.05.2022)

3. Zahid Farid, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail. Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System Journal of Computer Networks and Communications Volume 2013, Article ID 185138, 12 pages. Retrieved from: https://www.hindawi.com/journals/jcnc/2013/185138/ (accessed 18.05.2022)

4. Horn Berthold K.P. Indoor Localization Using Uncooperative Wi-Fi Access Points. Sensors 2022, 22(8), 3091. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/360055519_Indoor_Localization_Using_Uncooperative_Wi-Fi_Access_Points (accessed 18.05.2022)

5. Youssef M., Agrawala A. The Horus WLAN Location Determination System. Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2005), June 6-8, 2005, Seattle, Washington, USA. 12 pages. Retrieved from: https://www.cs.umd.edu/~moustafa/ papers/horus_usenix.pdf (accessed 18.05.2022)

6. Cisco Meraki. Location Analytics. Jan 5, 2022. Retrieved from: https://documentation.meraki.com/MR/Monitoring_and_Reporting/Location_Analytics (accessed 11.05.2022)

7. Ekahau. The Solution to Design, Validate, and Maintain High-Performing Wi-Fi. Retrieved from: https://www.ekahau.com/ (accessed 05.05.2022)

8. Alexey Belousov (2016) Vse o Cisco FastLocation [All about Cisco FastLocation]. Retrieved from: https://habr.com/ru/post/311722/ (accessed 10.04.2022)

9. Peng Dai, Yuan Yang, Manyi Wang, and Ruqiang Yan. Combination of DNN and Improved KNN for Indoor Location Fingerprinting. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2019, Article ID 4283857, 9 pages. Retrieved from: https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2019/4283857/ (accessed 05.05.2022)

10. Marco Schwartz. Internet of Things with ESP8266. Packt Publishing, 2016, 226 pages.

11. Microchip. Microchip ENC28J60. Retrieved from: https://www.microchip.com/en-us/product/ENC28J60#document-table (accessed 20.05.2022).

12. MikroAmper. RobotDyn UNO WIFI ESP2866 32Mb. Retrieved from: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=864&gclid=EAIaIQobChMI06q0t_yO-AIVDNiyCh0sYwWGEAYYASABEgJMXvD_BwE (accessed 20.05.2022).

УДК 621.38
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.2

МОДИФІКАЦИЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ П'ЄЗОРЕЗОНАТОРА НА ОСНОВІ МОДЕЛІ BUTTERWORTH – VAN DYKE

Васильчук Д. П. *– старший викладач кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем*
Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту
Української інженерно-педагогічної академії
ORCID ID: 0000-0002-7856-2252

Залужна Г. В. *– кандидат фізико-математичних наук,*
доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем
Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту
Української інженерно-педагогічної академії
ORCID ID: 0000-0003-4810-9737

Романуша В. О. *– кандидат фізико-математичних наук,*
доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем
Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту
Української інженерно-педагогічної академії
ORCID ID: 0000-0002-8009-9455

У статті досліджуються методики визначення параметрів еквівалентної електричної схеми (ЕЕС) п'єзоелектричних резонаторів і перетворювачів на основі моделей Butterworth – Van Dyke (BVD) і Sherrita.

Отримано аналітичні вирази для оцінки відносної похибки розрахунку резонансної частоти коливань п'єзоелемента, виходячи з параметрів ЕЕС для моделей BVD і Sherrita, для різних випадків граничних умов (ГУ), а саме нульових ГУ і ГУ з однобічним масонавантаженням і міжелектродним проміжком.

Представлено результати чисельного аналізу визначення відносної похибки резонансної частоти, виходячи з параметрів ЕЕС для моделей BVD і Sherrita, побудовано графіки частотних характеристик для випадку АТ зрізу кварцу на резонансну частоту f_s = 10 Мгц. Ці результати і графіки показують, що найбільш поширені методики, що засновані на моделі BVD, мають значну абсолютну і відносну похибки визначення резонансної частоти f_s.

Встановлено, що методика, заснована на моделі Sherrita, має нульову відносну погрішність визначення резонансної частоти, виходячи з ЕЕС. Крім цього, ця методика може бути застосована і для визначення ЕЕС п'єзорезонаторів з ненульовими граничними умовами, при цьому виключається поява вище вказаних похибок.

Запропоновано модифікацію методики визначення параметрів ЕЕС на основі моделі BVD, в якій усунені вище приведені недоліки, тобто отримано подальший розвиток моделі BVD. Отримано аналітичні вирази для розрахунку параметрів ЕЕС модифікованої методики, які, на відміну від існуючих методик, враховують залежність L_n і C_0 від гармонік n.

Модифікована методика визначення параметрів ЕЕС може бути використана при моделюванні і проектуванні нових резонаторів, фільтрів, датчиків в пристроях контролю зв'язку, контрольно-вимірювальних приладах та в інших п'єзорезонансних коливальних системах.

Ключові слова: *кварцовий резонатор, товщинно-зсувні коливання, п'єзоелемент, АТ-зріз кварцу, еквівалентна електрична схема.*

Vasylchuk D. P., Zaluzhna G. V., Romanusha V. O. Modification of the methodology of determination of parameters of equivalent electrical scheme of piezoresonator on the basis of model Butterworth – Van Dyke

The article investigates the methodologys of determining the parameters of the equivalent electrical circuit (EES) of piezoelectric resonators and transducers based on models Butterworth – Van Dyke (BVD) and Sherrita.

Analytical expressions for estimating the relative error in calculating the resonant frequency of piezoelectric oscillations based on the EES parameters for models are obtained BVD and Sherrita, for different cases of boundary conditions (GU), namely zero GU and GU with unilateral mass load and interelectrode interval.

The results of numerical analysis to determine the relative error of the resonant frequency based on the parameters of the EPS for the models are presented BVD and Sherrita, graphs of frequency characteristics for the case of AT quartz cut at resonant frequency are constructed f_0 = 10 Мгц. These results and graphs show that the most common techniques are model-based BVD, have significant absolute and relative errors in determining the resonant frequency f_0.

It is established that the methodology based on the Sherrita model has zero relative error in determining the resonant frequency based on the EES. In addition, this technique can be used to determine the EES of piezoresonators with non-zero boundary conditions, thus eliminating the occurrence of the above errors.

A modification of the methodology of determining the parameters of the EES based on the BVD model is proposed, which eliminates the above shortcomings, ie the further development of the BVD model is obtained. Analytical expressions for calculation of EES parameters of the modified technique are obtained, which, in contrast to the existing methodologys, take into account the dependence L_n and C_0 on harmonics n.

The modified methodology of determination of parameters of EEC can be used for a design and planning of new resonators, filters, sensors in the devices of control of connection, control and measuring devices and in other piezo resonant oscillating systems.

Key words: *quartz resonator, thickness-shear oscillations, piezoelectric element, AT-slice of quartz, equivalent electrical circuit.*

Постановка проблеми. Опис п'єзоелектричних перетворювачів і п'єзорезонаторів за допомогою еквівалентних електричних схем (ЕЕС) є ефективним способом вирішення більшості практичних завдань, пов'язаних із схемотехнічним проектуванням і моделюванням.

Наразі такі схеми були отримані для ряду п'єзорезонаторів простої геометрії, причому при дослідженні поведінки резонатора в широкій смузі частот використовуються багатоконтурні еквівалентні схеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для отримання ЕЕС п'єзоелектричних пластин і дисків, які працюють на товщинно-зсувних (TSh) типах коливань, найбільше поширення отримала модель Butterworth – Van Dyke (BVD), що представлена на рисунку 1. Van Dyke був першим, хто запропонував цю модель, а пізніше розширив її за рахунок включення декількох паралельних $R_nL_nC_n$ контурів (рис. 2) для обліку резонансів на вищих гармоніках. Ця модель рекомендована IEEE в якості стандартної [1, 2].

Значення величин $R_nL_nC_n$ в послідовній гілці асоціюють відповідно з розсіянням теплової енергії під час коливань, масою п'єзоелемента (ПЕ) і константами пружності. Емність C_0 паралельної гілки асоціюють з електростатичною ємністю ПЕ пластини, де ПЕ виступає діелектриком. Модель BVD з достатньою для практики точністю описує поведінку п'єзорезонатора в області частот, які знаходяться поблизу резонансу, за її межами п'єзорезонатор поводиться як звичайний конденсатор.

Методика визначення параметрів ЕЕС по моделі BVD для випадку нульових граничних умов (відсутнє масонавантаження і міжелектродний проміжок) приведена в роботі [3].

У роботі [4] на основі моделі BVD була отримана ЕЕС п'єзорезонатора, що враховує граничні умови (ГУ) на головних поверхнях ПЕ. В якості ГУ в цій роботі

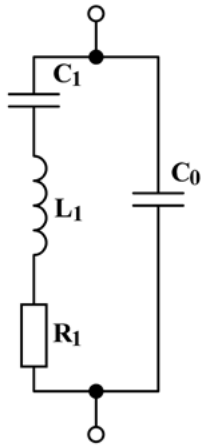


Рис. 1. Модель BVD

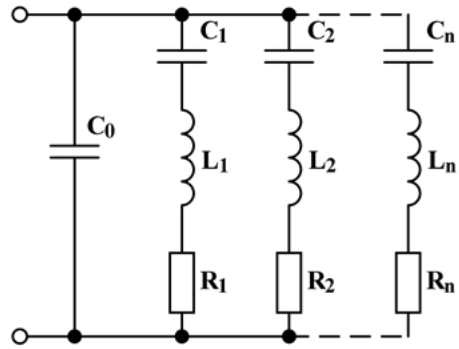
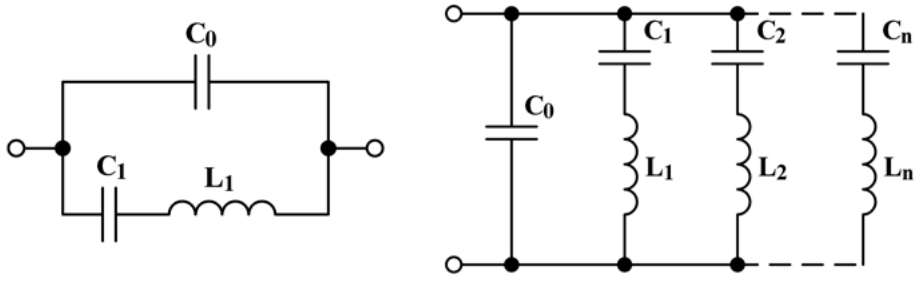


Рис. 2. Розширена модель BVD

використовувалися одностороннє масонавантаження на одній із сторін п'єзоелемента і проміжок d0 між електродом та іншою стороною п'єзоелемента. Отримані в роботі вирази для параметрів Ln, Cn, Rn EEC є загальними і можуть бути використані при проектуванні п'єзорезонансних пристроїв з поліпшеними параметрами.

Іншими авторами [5] в якості EEC п'єзорезонатора була запропонована модифікація моделі BVD. Схема запропонованої ними EEC представлена на рисунку 3.



а) *б)*

Рис. 3. Модель Sherrita (а); розширена модель Sherrita (б)

У цій моделі відсутній активний опір R_n у послідовній вітці. Облік дисипативних втрат пропонується здійснювати за рахунок представлення матеріальних констант п'єзоматеріала в комплексній формі, та, як наслідок, усі елементи схеми на рисунку 3 будуть комплексними, у тому числі і частоти послідовного f_s і паралельного f_p резонансів. Комплексні матеріальні константи визначаються дослідним шляхом за допомогою аналізатора імпедансу з подальшою обробкою результатів ітераційним методом Сміта [6]. У роботі [7] отримала подальший розвиток модель Sherrita, яка була розширена за рахунок додавання додаткових L_n, C_n гілок для урахування резонансу на вищих гармоніках аналогічно тому, як була отримана розширена модель BVD, що представлена на рисунку 2. Автори робіт стверджують, що їх метод дозволяє точніше визначати параметри EEC п'єзорезонатора і приводять відповідні результати розрахунку.

Мета дослідження – аналіз методик отримання параметрів ЕЕС на підставі моделей, про які йшла мова вище [5-7], оцінки їх абсолютної і відносної похибок при визначенні частоти послідовного резонансу f_s, вибір оптимальної методики.

Виклад основного матеріалу. Пластини різних зрізів кварцу мають різні електропружні матриці матеріальних констант. Один з класів зрізу кварцу, повернений Y-зріз, отримав найбільше поширення при конструюванні п'єзоелектричних пристроїв. Система рівнянь стану, руху і електростатики поверненого Y-зрізу кварцу для випадку чистих TSh коливань, коли використовується тільки одна компонента механічного зсуву $u_1(x_2,t) \neq 0$, а інші $u_2(x_2,t) = u_3(x_2,t) = 0$, згідно [8], наступна:

$$\begin{cases} T_{21} = C_{66}\dfrac{\partial u_1}{\partial x_2} + e_{26}\dfrac{\partial \varphi}{\partial x_2} \\ T_{31} = C_{56}\dfrac{\partial u_1}{\partial x_2} + e_{25}\dfrac{\partial \varphi}{\partial x_2} \\ D_2 = e_{26}\dfrac{\partial u_1}{\partial x_2} - \varepsilon_{22}\dfrac{\partial \varphi}{\partial x_2} \\ D_3 = e_{36}\dfrac{\partial u_1}{\partial x_2} - \varepsilon_{23}\dfrac{\partial \varphi}{\partial x_2}. \end{cases}, \tag{1}$$

$$\begin{cases} \rho\dfrac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \dfrac{\partial T_{21}}{\partial x_2} \\ \dfrac{\partial D_2}{\partial x_2} = 0, \end{cases}, \tag{2}$$

де x_2 – напрям уздовж товщини ПЕ;

c_{ij}, e_{kij}, ε_{kij} – пружні, п'єзоелектричні і діелектричні постійні ПЕ;

ρ, D_i, U_j, φ – щільність п'єзоелемента, електричний і механічний зсув уздовж координатних осей і електричний потенціал відповідно;

T_{ij} – елементи тензора механічної напруги.

Індекси набувають значень $i, j, k, l = 1,2,3$.

Загальне розв'язання системи рівнянь (1) і (2) відносно φ, u_1 згідно [2]:

$$\begin{cases} \varphi = \dfrac{e_{26}}{\varepsilon_{22}}\left[A_1\sin(\xi x_2) + A_2\cos(\xi x_2)\right] + B_1 x_2 + B_2 \\ u_1 = A_1\sin(\xi x_2) + A_2\cos(\xi x_2) \end{cases}, \tag{3}$$

де A_1, A_2, B_1, B_2 – безрозмірні константи, які необхідно визначити виходячи з граничних умов;

$\xi = \omega\sqrt{\dfrac{\rho}{\overline{c}_{66}}}$ – хвильове число;

$\overline{c}_{66} = c_{66}(1 + k_{26}^2)$ – модифікована константа пружності;

$k_{26}^2 = \dfrac{e_{26}^2}{\varepsilon_{22}c_{66}}$ – коефіцієнт електромеханічного зв'язку.

Приймаємо наступні граничні умови на головних поверхнях п'єзоелектричної пластини:

$$\begin{gathered} T_{21}(x_2 = h) = T_{21}(x_2 = -h) = 0 \\ \varphi(x_2 = h) = \varphi_0 \\ \varphi(x_2 = -h) = -\varphi_0 \end{gathered}, \tag{4}$$

Розв'язання системи рівнянь (3) з урахуванням граничних умов (4) буде наступним:

$$A_1 = \frac{e_{26}\varepsilon_{22}\varphi_0}{e_{26}^2 \sin(\xi h) - h\xi\varepsilon_{22}\overline{c}_{66}\cos(\xi h)},$$
$$B_1 = \frac{\xi\varepsilon_{22}\overline{c}_{66}\cos(\xi h)\varphi_0}{-e_{26}^2 \sin(\xi h) + h\xi\varepsilon_{22}\overline{c}_{66}\cos(\xi h)}, \quad (5)$$
$$A_2 = 0,\ B_2 = 0.$$

Згідно [8], повну провідність п'єзорезонатора можна визначити з рівняння:

$$Y_r = \frac{I}{U} = \frac{1}{U}\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{1}{U}\frac{\partial}{\partial t}\int_{-m}^{m}\int_{-l}^{l} D_2(x_2,t)dx_1dx_3. \quad (6)$$

Враховуючи те, що електричне зміщення $D_2(x_2,t)$ є гармонійною функцією часу $D_2(x_2,t) = D_2(x_2)e^{j\omega t}$, повну провідність п'єзоелемента можна записати у вигляді:

$$Y_r = \frac{j\omega S}{U} D_2(x_2), \quad (7)$$

де $S = 4ml$ – площа електроду.

Підставляючи (5) і (3) у вираз для $D_2(x_2,t)$ системи рівнянь (1), отримуємо наступний вираз для провідності Y_r:

$$Y_r = \frac{j\omega S\varepsilon_{22}}{2h}\left[\frac{1}{1-\overline{k}_{26}^2\frac{\tan(\xi h)}{\xi h}}\right], \quad (8)$$

де $\overline{k}_{26}^2 = \frac{k_{26}^2}{1+k_{26}^2}$ – модифікований коефіцієнт електромеханічного зв'язку.

1. Аналіз еквівалентної електричної схеми пьезрезонатора на основі моделі BVD з нульовими граничними умовами.

Згідно методики, викладеної в роботі [5] (надалі методика № 1), виходячи з провідності (8), були отримані наступні вирази для розрахунку параметрів EEC :

$$L_n = \frac{h^3\rho}{Se_{26}^2}, \quad (9)$$

$$C_n = \frac{4Se_{26}^2}{n^2\pi^2 h\overline{c}_{66}}, \quad (10)$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_{22}S}{2h}, \quad (11)$$

$$R_n = \frac{n^2\pi^2 h}{2Se_{26}^2}\eta_s, \quad (12)$$

де η_s – величина внутрішнього тертя, для кварцових резонаторів приймають рівною $0,3\cdot10^{-3}\ H\cdot m^2\cdot c$;

$n = 1,3,5...$

Вираз для провідності еквівалентної електричної схеми, зображеної на рисунку 2, без урахування R_n буде наступним:

$$Y_{r1} = j\omega\left(C_0 + \frac{C_n}{1-C_n\omega^2 L_n}\right). \quad (13)$$

Імпеданс Z_{r1}:

$$Z_{r1} = \frac{1}{Y_{r1}} = \frac{j\left(C_n L_n \omega^2 - 1\right)}{\omega\left(C_0 + C_n\right) - C_0 C_n L_n \omega^3}. \quad (14)$$

Після підстановки (9-11) в (13) отримаємо:

$$Y_{r1} = j\omega \frac{S}{2h}\left(\varepsilon_{22} + \frac{8e_{26}^2}{n^2\pi^2\overline{c}_{66} - 4h^2\rho\omega^2}\right). \quad (15)$$

На рисунку 4 у якості прикладу приведені частотні характеристики, які побудовані згідно виразів (8) і (15) в області частот, наближених до резонансної $f_s = 10$ Мгц з урахуванням того, що $n = 1$ (досліджується резонанс на основній частоті). У якості ПЕ взятий АТ-зріз кварцу [9], завтовшки, що дорівнює $2h_{ПЭ} = nN / f_s = 1 \cdot 1661 \cdot 10^3 / 10 \cdot 10^6 = 0{,}1661$, де N – частотний коефіцієнт. Площа електродів збудження, виходячи з умови $d / h > 30$, де d – найменший поперечний розмір пластини, прийнята $S = 5 \cdot 10^{-5}\,м^2$.

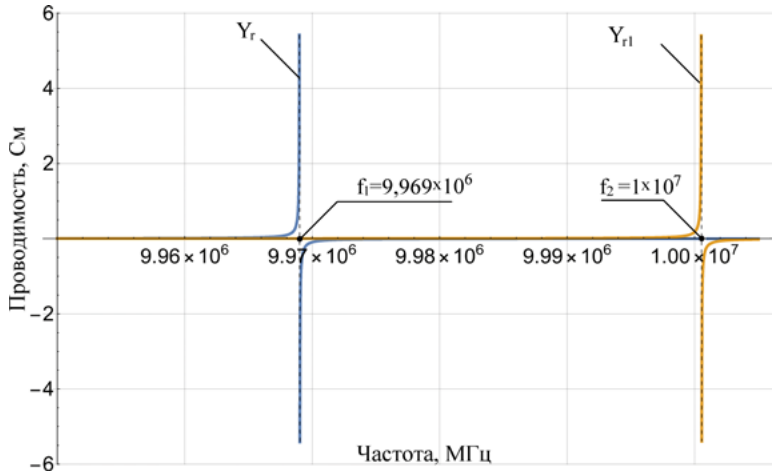


Рис. 4. Частотні характеристики $Y_r(\omega)$ і $Y_{r1}(\omega)$

Як можна бачити з графіків частотних характеристик, представлених на рис. 4, абсолютна похибка визначення резонансної частоти $\Delta f_s = f_2 - f_1$ за методикою № 1, складає $\Delta f_s = 31 кГц$.

Визначимо аналітичний вираз для розрахунку відносної похибки $\Delta f / f_1 = \frac{f_2 - f_1}{f_1}$ методики № 1. Частота послідовного резонансу f_1 визначається згідно [5]:

$$f_1 = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\overline{c}_{66}}{\rho}}\left(1 - 4\frac{\overline{k}_{26}^2}{n^2\pi^2}\right), \quad (16)$$

де $f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$.

Вираз для тієї ж частоти послідовного резонансу, але вже отриманий виходячи з еквівалентної електричної схеми, зображеної на рисунку 3 з обліком (9) і (10), наступний:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_n C_n}} = \frac{1}{4\sqrt{\frac{h^2\rho}{n^2\overline{c}_{66}}}}. \quad (17)$$

Вираз для визначення відносної похибки $\Delta f / f_{s1}$:

$$\Delta f / f_1 = \frac{4\bar{k}_{26}^2}{n^2\pi^2 - 4\bar{k}_{26}^2}. \quad (18)$$

Так, для п'єзорезонатора, що був використаний як приклад вище, при $n = 1$ відносна похибка складає $\Delta f / f_1 = 3{,}15 \cdot 10^{-3}$, а при $n = 3$ дорівнює $\Delta f / f_0 = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$.

2. Аналіз еквівалентної електричної схеми п'єзорезонатора на основі моделі Sherrita з нульовими граничними умовами.

У роботі [7] представлена ЕЕС п'єзорезонатора, яка відмінна від загальноприйнятої схеми з моделі BVD, але запропонований авторами підхід визначення параметрів ЕЕС, є загальним, і його можна поширити на модель BVD.

Для розрахунку параметрів ЕЕС (методика № 2) у роботі [9] було запропоновано такі співвідношення:

$$L_n = \frac{1}{4\pi^2 f_s^2 C_1} \quad (19)$$

$$C_n = \frac{\varepsilon_{22} S / 2h}{1 - \bar{k}_{26}^2}\left(\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_p^2}\right) \quad (20)$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_{22} S / 2h}{1 - \bar{k}_{26}^2} - C_n. \quad (21)$$

Після підстановки (19-21) у (13), для випадку $n = 1$ отримаємо наступний вираз для визначення провідності Y_{r1}'':

$$Y_{r1}'' = j\pi f \frac{S\varepsilon_{22}}{h(1 - \bar{k}_{26}^2)}\left[\frac{f_s^2\left(f^2 - f_p^2\right)}{f_p^2\left(f^2 - f_s^2\right)}\right], \quad (22)$$

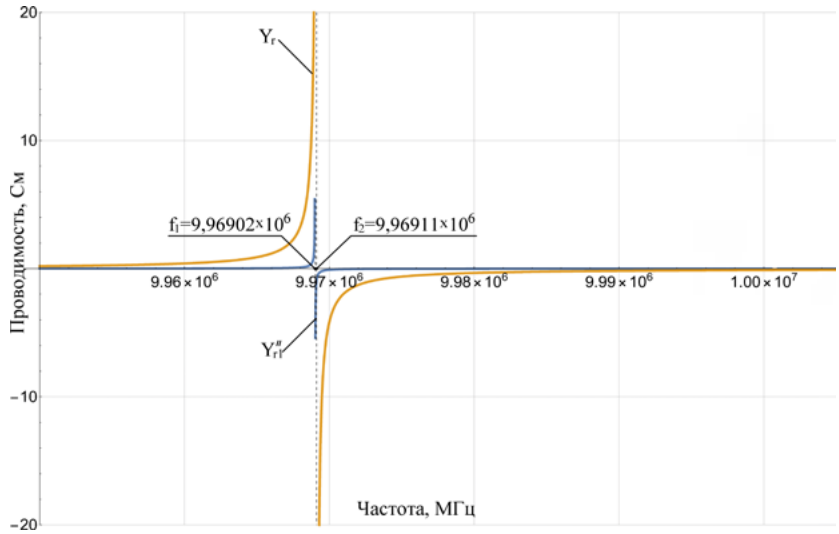


Рис. 5. Частотні характеристики $Y_r(\omega)$ і $Y_{r1}''(\omega)$

де $f_s = f_1 = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\overline{c}_{66}}{\rho}}\left(1 - 4\frac{\overline{k}_{26}^2}{n^2\pi^2}\right)$ – частоти послідовного резонансу;

$f_p = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\overline{c}_{66}}{\rho}}$ – частота паралельного резонансу.

На рисунку 5 наведено частотні характеристики, які побудовані згідно з виразами (8) та (22) у навколорезонансній області частот f_s = 10МГц при n = 1. Геометрія та зріз ПЕ ті ж, що й у попередніх випадках. З графіків частотних характеристик видно, що абсолютна похибка визначення резонансної частоти становить $\Delta f_s = f_2 - f_1 = 90$ *Гц*.

Визначимо вираз для відносної похибки визначення резонансної частоти $\Delta f / f_1' = \frac{f_1 - f_2''}{f_1}$ методики № 3.

Вираз для резонансної частоти f_2'', що отримане шляхом підстановки виразів (19) і (20) у (17), має наступний вигляд:

$$f_2'' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_n C_n}} = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\overline{c}_{66}}{\rho}}\left(1 - 4\frac{\overline{k}_{26}^2}{n^2\pi^2}\right) = f_1 . \qquad (23)$$

Отже, відносна похибка визначення резонансної частоти $\Delta f / f_1$ дорівнюватиме нулю.

Наявність абсолютної похибки Δf_s = 90 *Гц* і водночас відсутність відносної похибки $\Delta f / f_{s1}$ = 0 пояснюється тим, що вираз для частоти послідовного резонансу f_s, що входить до (19) і (20), є наближеним. У зв'язку з цим цю похибку необхідно розуміти як похибку, з якою вираз (16) дозволяє визначити частоту послідовного резонансу.

4. Модифікація методики визначення параметрів еквівалентної електричної схеми п'єзорезонатора на основі моделі BVD з нульовими граничними умовами.

Відносна похибка визначення резонансної частоти Δf_s за методикою № 1 виникає через те, що при виведенні співвідношень для параметрів ЕЕС використовувався вираз для резонансної частоти $f_s = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\overline{c}_{66}}{\rho}}$, який не враховує коефіцієнт електромеханічного зв'язку k_{26}^2. Такий вибір був продиктований насамперед тим, що вираз для f_s є менш громіздким, ніж вираз для f_{s1} (формула 16). До того ж кількісне значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку $\overline{k}_{26}^2$ відносно мало (для АТ-зрізу кварца $\overline{k}_{26}^2 = 0{,}008$) і для спрощення розрахунків їм часто нехтують. Як було показано вище, такі спрощення призводять до суттєвих похибок у визначенні резонансної частоти f_s, виходячи з ЕЕС резонатора.

У виразі для повної провідності ПЕ (8) проведемо заміну $\tan(\xi h) = 1/\cot(\xi h)$, далі розкладемо функцію $\cot(\xi h)$ в ряд Тейлора у околі точки $(n = 1,3,5...)$. Обмежуючись першими двома членами розкладання, отримаємо такий вираз для провідності Y_r:

$$Y_r = \frac{j\omega S\varepsilon_{22}\xi}{2h\xi - \frac{4\overline{k}_{26}^2}{n\pi - 2h\xi}} \qquad (24)$$

Імпеданс п'єзорезонатора з урахуванням виразу для ξ з (3):

$$Z_r = \frac{1}{Y_r} = -\frac{j4}{S\varepsilon_{22}\omega^2}\left(\frac{h\omega}{2} + \frac{\overline{k}_{26}^2\overline{c}_{66}}{2h\omega\rho - n\pi\sqrt{\overline{c}_{66}\rho}}\right). \qquad (25)$$

Дотримуючись методики [9], визначимо дві величини: $\left(\frac{\partial Z_{r1}}{\partial \omega}\right)_{\omega=\omega_s}$, де Z_{r1} взято з (14), а ω_s з (17); $\left(\frac{\partial Z_r}{\partial \omega}\right)_{\omega=\omega_s}$, де Z_r взято з (25), а ω_s з (16).

В результаті отримуємо наступні співвідношення:

$$\left(\frac{\partial Z_{r1}}{\partial \omega}\right)_{\omega=\omega_s} = j2L_n, \tag{26}$$

$$\left(\frac{\partial Z_r}{\partial \omega}\right)_{\omega=\omega_s} = \frac{j4h^3\rho}{Se_{26}^2\left(1+\pi/\sqrt{\pi^2-16\bar{k}_{26}^2/n^2}\right)}. \tag{27}$$

Прирівнюючи вирази для імпедансу (26) і (27), визначаємо :

$$L_n = \frac{h^3n^2\pi^2\rho\left(n^4\pi^4-8\bar{k}_{26}^2\left(n^2\pi^2-2\right)\right)}{Se_{26}^2\left(n^2\pi^2-4\bar{k}_{26}^2\right)^3}. \tag{28}$$

Ємність конденсатора C_n визначимо з (17), з урахуванням (16) і (28):

$$C_n = \frac{4Se_{26}^2\left(n^2\pi^2-4\bar{k}_{26}^2\right)}{h\bar{c}_{66}\left(n^4\pi^4-8\bar{k}_{26}^2\left(n^2\pi^2-2\right)\right)}. \tag{29}$$

Вираз для частоти паралельного резонансу f_p, що еквівалентна електричній схемі, зображеній на рисунку 2:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_n\frac{C_nC_0}{C_n+C_0}}}. \tag{30}$$

Прирівнявши (33) до виразу для f_p з (22), с урахуванням (28) і (29), отримаємо вирази для визначення ємності конденсатора C_0:

$$C_0 = \frac{S\varepsilon_{22}\left(n^2\pi^2-4\bar{k}_{26}^2\right)^3}{2h\left(n^6\pi^6-10n^4\pi^4\bar{k}_{26}^2+32\bar{k}_{26}^6\right)}. \tag{31}$$

Вираз щодо частоти послідовного резонансу для схеми, що зображена на рис. 2, виходячи з параметрів EEC (28, 29, 31), наступний:

$$f_{s3} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_nC_n}} = \frac{n}{4h}\sqrt{\frac{\bar{c}_{66}}{\rho}}\left(1-4\frac{\bar{k}_{26}^2}{n^2\pi^2}\right). \tag{32}$$

Вираз (32) збігається з (16). Отже, відносна похибка визначення резонансної частоти $\Delta f / f_{s1}' = \frac{f_{s1}-f_{s3}}{f_{s1}}$ запропонованої модифікованої методики дорівнюватиме нулю.

Висновки. У роботі представлений аналіз методик визначення параметрів EEC п'єзоелектричних резонаторів та перетворювачів на основі моделі Butterworth-Van Dyke.

Встановлено, що методика № 1, яка набула найбільшого поширення, має значну абсолютну і відносну похибки при визначенні частоти послідовного резонансу f_s, виходячи з EEC. Так, відносна похибка визначення резонансної частоти, що фігурує у числовому прикладі № 1, має порядок $10^{-4} \div 10^{-3}$, що є значним

у застосуванні до резонаторів, у яких відносну зміну частоти вимірюють у ppm (parts per million) – одна мільйонна частина. З роботи [9], де досліджувався вплив міжелектродного зазору на резонансну частоту коливань ПЕ, відомо, що відносна зміна частоти $\Delta f / f_0$ становило $10^{-4} \div 10^{-3}$, що можна порівняти з відносною похибкою визначення резонансної частоти методики № 1. Отримано аналітичний вираз для визначення відносної похибки визначення резонансної частоти f_s, виходячи з ЕЕС методики № 1.

Аналіз методики № 2 показав, що вона має відносну нульову похибку визначення резонансної частоти, виходячи з ЕЕС. Крім того, дана методика може бути застосована і для визначення ЕЕС п'єзорезонаторів з ненульовими граничними умовами, при цьому виключається поява вищезазначених похибок.

Запропоновано модифікацію методики № 1, у якій усунуто вище наведені недоліки, тобто отримала подальший розвиток модель BVD.

Отримано аналітичні вирази для розрахунку параметрів ЕЕС модифікованої методики № 1, які на відміну від існуючих (методика № 1) враховують залежність L_n і C_0 від гармонік n.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tiersten H.F. Linear Piezoelectric Plate Vibrations: *Elements of the Linear Theory of Piezoelectricity and the Vibrations of Piezoelectric Plates. Springer US.* 1995. 212 p.

2. Yang J. Analysis of Piezoelectric Devices. *World Scientific*. 2006. 520 p.

3. Зеленка И. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах: *Материалы, технология, конструкция, применение*: Пер. с чеш. 1990. 594 с.

4. Mindlin R.D. High frequency vibrations of piezoelectric crystal plates. *Int. J. Solids Structures*. 1972. Vol. 8. P. 895–906.

5. Huijing H. Thickness-shear vibration of a rectangular quartz plate with partial electrodes. *Acta Mechanica Solida Sinica*. 2013. Vol. 26. N. 2. P. 121–128.

6. Wang J. Resonant frequency function of thickness-shear vibrations of rectangular crystal plates. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control*. 2011. Vol. 58. N. 5. P. 1102–1107.

7. Liu N. Effects of a Mass Layer With Gradually Varying Thickness on a Quartz Crystal Microbalance. *IEE Sensors journal*. 2011. Vol.11. N. 8. P. 1635–1639.

8. Партон В.З., Кудрявцев Б.А. Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. М.: Наука. 1988. 472 с.

9. Васильчук Д.П., Семенець Д.А., Романуша В.О., Кобилянський Б.Б., Нефьодова І.В. Математична модель п'єзорезонансної коливальної системи на основі матрично-операторного метода. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2019. Вип. 2/2019 (46). С. 25–32.

REFERENCES:

1. Tiersten H.F. Linear Piezoelectric Plate Vibrations: *Elements of the Linear Theory of Piezoelectricity and the Vibrations of Piezoelectric Plates. Springer US.* 1995. 212.

2. Yang J. Analysis of Piezoelectric Devices. *World Scientific*. 2006. 520.

3. Zelenka, Y. (1990). Pezoelektrycheskye rezonatory na obemnykh y poverkhnostnykh akustycheskykh volnakh [Piezoelectric resonators on bulk and surface acoustic wave]. *Materialy, tekhnolohiia, konstruktsiia, prymenenye – Materials, technology, construction, application,* 594. [in Russian].

4. Mindlin R.D. High frequency vibrations of piezoelectric crystal plates. *Int. J. Solids Structures*. 1972. Vol. 8. 895–906.

5. Huijing H. Thickness-shear vibration of a rectangular quartz plate with partial electrodes. *Acta Mechanica Solida Sinica*. 2013. Vol. 26. N. 2. 121–128.

6. Wang J. Resonant frequency function of thickness-shear vibrations of rectangular crystal plates. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control*. 2011. Vol. 58. N. 5. 1102–1107.

7. Liu N. Effects of a Mass Layer With Gradually Varying Thickness on a Quartz Crystal Microbalance. *IEE Sensors journal*. 2011. Vol. 11. N. 8. 1635–1639.

8. Parton, V.Z., & Kudrjavcev, B.A. (1988). Elektromahnytoupruhost pezoelektrycheskykh y elektroprovodnykh tel [Electromagnetoelasticity of piezoelectric and electrically conductive bodies]. M.: Nauka. [in Russian].

9. Vasylchuk, D.P., Semenets, D.A., Romanusha, V.O., Kobylianskyi, B.B., & Nefodova, I.V. (2019). Matematychna model piezorezonansnoi kolyvalnoi systemy na osnovi matrychno-operatornoho metoda [Mathematical model of piezoresonant oscillatory system based on matrix-operator method]. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy – Electromechanical and energy saving systems,* 2/2019 (46), 25–32. [in Ukrainian].

УДК 004.4
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.3

ПЕРВИННИЙ ТА ВІЗУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ СПОРТИВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ З АКАДЕМІЧНОГО ВЕСЛУВАННЯ ЗАСОБАМИ МОВИ PYTHON З ВИКОРИСТАННЯМ БІБЛІОТЕК PANDAS, MATPLOTLIB ТА SEABORN

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

Антіпова К. О. *– Ph.D.,*
старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення
Чорноморського національного університету імені Петра Могили
ORCID ID: 0000-0002-9012-5290
Scopus-Author ID: 57212609599

Кірей К. О. *– кандидат педагогічних наук,*
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Чорноморського національного університету імені Петра Могили
ORCID ID: 0000-0002-9338-2380

У теперішній час у вищій освіті важливу роль грає комп'ютеризація, що спрямовується на покращення навчального процесу шляхом формування та удосконалення його форм і змісту. Зокрема, комп'ютеризація може бути застосовано і в сфері фізичного виховання. У статті представлено використання мови програмування Python та її бібліотек Pandas, Matplotlib та Seaborn при аналізі даних проведення тесту з академічного веслування студентами Чорноморського національного університету імені Петра Могили різного віку. Представлено структуру вихідного набору даних для подальшого аналізу, у яку входять характеристики, що були виміряні перед виконанням тесту та занесені в протокол, та характеристики, що були отримані шляхом імпорту з монітору веслувального тренажеру. Наведено основні можливості бібліотеки Pandas для проведення первинного аналізу даних з використанням структури DataFrame. За допомогою первинного аналізу можна визначити студентів з найкращими або найгіршими результатами тестування, середні значення дистанції проходження з урахуванням статі, віку, громадянства тощо. За допомогою візуального аналізу здійснено дослідження залежностей між деякими кількісними характеристиками. Представлено графіки попарних залежностей між пройденими відстанями за певними періодами часу та графіки розподілу цих величин. Наведено матрицю кореляційної залежності певних кількісних ознак, таких як вік, маса тіла, зріст, пульси перед виконанням та після виконання тесту з академічного веслування та пройденими відстанями за певний період часу. Представлено загальну діаграму розсіювання ознак кількості помахів та маси тіла студента та діаграму розсіювання цих ознак у розрізі категоріальної ознаки статі. Первинний та візуальний аналіз даних може бути використано для більш глибокого аналізу даних із застосуванням методів машинного навчання

та штучного інтелекту та є першим етапом створення системи інтелектуального аналізу даних та прогнозування спортивних результатів, що може бути використана у сфері фізичного виховання та застосована для різних видів спорту.

Ключові слова: *комп'ютеризація, спорт, академічне веслування, набір даних, Pandas, Matplotlib, кореляція, гістограма, залежність, машинне навчання.*

Horban H. V., Kandyba I. O., Antipova K. O., Kirei K. O. Primary and visual analysis of rowing performance data by means of Python using Pandas, Matplotlib and Seaborn libraries

At present, computerization plays an important role in higher education, aimed at improving the educational process by shaping and improving its forms and content. In particular, computerization is applicable in the sphere of physical education as well. The article presents the use of Python programming language and its libraries Pandas, Matplotlib and Seaborn in the analysis of test data on academic rowing by students of different ages at Petro Mohyla Black Sea National University. Presented is the structure of the original data set for further analysis, which includes the characteristics measured before the test and recorded in the protocol, and the characteristics obtained by importing from the rowing machine monitor. The basic capabilities of the Pandas library to perform primary data analysis using the DataFrame structure are presented. Primary analysis can be used to identify students with the best or worst test scores, the average values of the walking distance, taking into account gender, age, nationality, etc. By means of visual analysis the dependencies between some quantitative characteristics were investigated. Graphs of pairwise dependencies between the distances covered for certain periods of time and graphs of the distribution of these values are presented. Correlation matrix for certain quantitative characteristics such as age, body weight, height, heart rate before and after the performance of the rowing test and the distances covered over a certain period of time is presented. A general scatter diagram of the traits of number of strokes and body weight of a student and a scatter diagram of these traits in the context of the categorical trait of gender are presented. Primary and visual data analysis can be used for more in-depth data analysis using machine learning and artificial intelligence methods and is the first step in creating a system of intelligent data analysis and prediction of sports performance, which can be used in the field of physical education and applied to monitor the results of different sports.

Key words: *computerization, sports, rowing, data set, Pandas, Matplotlib, correlation, histogram, dependence, machine learning.*

Постановка задачі. На сьогоднішній день дуже важливу роль грає інформатизація вищої освіти, оскільки вона спрямована на розвиток та формування та розвиток інтелектуального потенціалу нації, а також удосконалення форм і змісту навчального процесу шляхом включення у нього комп'ютерних методів навчання та тестування. Це дає можливість вирішення проблеми освіти з урахуванням світового досвіду.

Можна зазначити, що інформатизація освіти може бути побудована за допомогою використання інформаційних систем, мереж, ресурсів та технологій. Основними чинниками, що забезпечують розвиток держави, та складовими національної інфраструктури є інформаційні технології різного рівня, зокрема бази даних і знань та системи штучного інтелекту [1].

Штучний інтелект, у свою чергу, походить від наслідування людської поведінки та здібностей, таких як мислення та навчання. Він заснований на ідеї розробки так званих інтелектуальних агентів або машин зі здатністю здобувати, моделювати та використовувати знання, аналітичні навички та досвід для досягнення спільних цілей. Розробка та впровадження інноваційних систем, заснованих на новітніх інформаційних технологіях і складних методах обробки даних, стають все більш важливими для негайного збору, передачі, зберігання та аналізу даних датчиків у спорті. Штучний інтелект заснований на концепціях машинного навчання та Data Mining. Інтеграція машинного інтелекту при розробці сучасних спортивних інформаційних систем дозволяє швидко й автоматично оцінювати значення параметрів спортивних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтелектуальний аналіз даних використовує методи машинного інтелекту для отримання корисної інформації з великих наборів даних. Вчені з Мельбурнського університету та Німецького університету спорту розглянули застосування інтелекту даних у спорті [2, с. 173]. Метою їхньої роботи є конструктивне поєднання спорту та аналізу даних шляхом розуміння аналітичних вимог різних завдань аналізу спортивних результатів та опису структури класифікації елітних видів спорту. Запропоновано модель, що поєднує вимоги аналізу продуктивності, яка складається з методів і прийомів аналізу даних та технічних характеристик.

Сучасні методи штучного інтелекту для спорту включають кластерний аналіз, пошук асоціативних правил, нейронні мережі, опорні вектори, нечітку логіку, які можна використовувати для кластеризації, класифікації, розпізнавання образів і прогнозування конкретних спортивних даних. Зокрема, аналіз даних з використанням алгоритмів самонавчання, таких як штучні нейронні мережі, все частіше обговорюється як перспективна область застосування у спортивній науці [3, с. 606; 4, с. 57; 5, с. 24; 6, с. 477]. Комп'ютерні системи з концепціями нечіткої логіки, які використовуються в спорті, включають дані, зібрані з пристроїв із датчиками, а також рекомендовані рекомендації та стандарти для належних вправ. Кінцевою метою є інтеграція розробленої програми в комп'ютеризовану систему навчання з автоматичним зворотним зв'язком [7, с. 12].

У роботі вчених Віденського університету впроваджено елемент штучного інтелекту для автоматичного оцінювання вправ з обтяженням [8, с. 31]. Запропоновано систему зворотного зв'язку, засновану на інтеграції тривалості, переміщення та сили. Кінцева мета цього дослідження – інтегрувати технологію автоматизації в мобільний пристрій системи тренера, тим самим забезпечуючи спортсменів автоматизованою системою, яка забезпечує продуктивність і зворотний зв'язок.

Вчені Сплітського університету розробили експертну систему для виявлення спортивних талантів [9, с. 1709]. Це перша експертна система для вибору та визначення найкращого руху з використанням математичних інструментів нечіткої логіки та широко доступна через Інтернет. Експертні знання зберігаються в базі даних, сформованої на основі знань, отриманих 97 кінезіологами.

Тому зарубіжні фахівці використовують елементи штучного інтелекту для вирішення завдань спортивної біомеханіки, спортивної орієнтації та відбору в системі аналізу для оптимізації тренувального процесу. Зрозуміло, це нелегке завдання, оскільки не існує простих рішень для успішного тренування. Навіть з конкретними цілями навчання змінні методи контролю часто невідомі. Крім чисельних і статистичних методів, методи нейронних мереж, інтелектуальний аналіз даних, нечітка логіка та розпізнавання образів виявилися перспективними методами для оцінки та отримання інформації про спорт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності системи фізичного виховання в ЧНУ імені Петра Могили шляхом побудови та використання у навчальному процесі з фізичного виховання системи обробки даних фізичної підготовленості, розвитку та функціональних можливостей студентів з подальшим аналізом даних, що дозволить виявити приховані закономірності та взаємозв'язки.

Для поточного дослідження було проведено тестування студентів ЧНУ імені Петра Могили з академічного веслування на тренажері Concept 2. У цьому тренажері для фіксації та зберігання результатів використовується монітор PM5, що дає можливість накопичення та збереження даних за певний період часу. Існує

можливість обміну даними між монітором PM5 та персональним комп'ютером, відповідно до якого дані зберігаються в форматі CSV.

У дослідженні взяли участь 195 студентів ЧНУ імені Петра Могили, серед яких є 121 студент з України та 74 іноземні студенти. Перед виконанням тесту кожному студенту було виміряно зріст, масу тіла та пульс. Після виконання тесту кожному студенту було виміряно пульс повторно. Всі результати було занесено у протокол.

У результаті було отримано набір вхідних даних, одна частина ознак якого представлена даними з протоколу тестування студентів, а інша була отримана шляхом імпорту даних з моніторів pm5 веслувальних тренажерів Concept2. Після проведення очистки зайвих даних тренувань з тренажерів (тестування проводилось у певні дати протягом трьох днів, а монітор pm5 має можливість зберігати дані протягом одного року, тому потрібно було залишити тільки дані за певні дати) була проведена звірка імпортованих з монітору даних за часом початку тесту з даними протоколів, у результаті чого було знайдено кому саме зі студентів належать відповідні дані окремого тестування. Наприкінці всі дані було зведено у єдиний файл у форматі xlsx.

Нижче описано характеристки результуючого набору даних із зазначенням джерела їх отримання:

1. **ID** – унікальний ідентифікатор студента, отриманий з протоколу тестування;
2. **Name** – прізвище та ім'я студента, отримані з протоколу тестування;
3. **Sex** – стать (варіанти значень: 'м', 'ж'), отримана з протоколу тестування;
4. **Nationality** – національність (варіанти значень: 'Ukrainian', 'Indian'), отримана з протоколу тестування;
5. **Age** – вік, отриманий з протоколу тестування;
6. **Height** – зріст, виміряний перед проведенням тестування та отриманий з протоколу;
7. **Weight** – маса, виміряний перед проведенням тестування та отриманий з протоколу;
8. **HeartRateBefore** – пульс, виміряний перед виконанням тесту та отриманий з протоколу;
9. **HeartRateAfter** – пульс, виміряний після тесту та отриманий з протоколу;
10. **Date** – дата проходження тесту певним студентом, отримана з протоколу та звірена з імпортованими даними з монітору тренажеру;
11. **Time** – час початку проходження тесту певним студентом, отриманий з протоколу та звірений з імпортованими даними з монітору тренажеру;
12. **ConceptNumber –** номер веслувального тренажеру в спортивній залік, на якому певний студент виконав тест (варіанти значень: 5, 6, 8). Отриманий з протоколу та звірений з імпортованими даними з монітору тренажеру;
13. **Meters** – загальна відстань у метрах, пройдена за весь час виконання тесту. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;
14. **Avg SPM (strokes per minute)** – середня кількість помахів весла при виконанні тесту, отримана шляхом імпорту даних з монітору;
15. **/500m** – час на проходження 500 м за загальною відстанню (у форматі mm:ss.ms), отриманий шляхом імпорту даних з монітору;
16. **Cal/hr** – потужність помаху весла в калоріях у годину (0.001163 Вт) за загальною відстанню, отриманий шляхом імпорту даних з монітору;
17. **Watt** – потужність помаху весла у ваттах (Вт) за загальною відстанню, отриманий шляхом імпорту даних з монітору;
18. **Meters_2min** – відстань у метрах, пройдена за перші 2 хвилини виконання тесту. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

19. **Avg SPM_2min** – середня кількість помахів весла за перші 2 хвилини виконання тесту, отримана шляхом імпорту даних з монітору;

20. **/500m_2min** – час на проходження 500 м за відстанню, пройденою у перші 2 хвилини. Отриманий шляхом імпорту даних з монітору;

21. **Cal/hr_2min** – потужність помаху весла в калоріях у годину за відстанню, пройденою у перші 2 хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

22. **Watt_2min** – потужність помаху весла у ваттах за відстанню, пройденою у перші 2 хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

23. **Meters_4min** – відстань у метрах, пройдена за третю та четверту хвилини виконання тесту. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

24. **Avg SPM_4min** – середня кількість помахів весла за третю та четверту хвилини виконання тесту, отримана шляхом імпорту даних з монітору;

25. **/500m_4min** – час на проходження 500 м за відстанню, пройденою за третю та четверту хвилини. Отриманий шляхом імпорту даних з монітору;

26. **Cal/hr_4min** – потужність помаху весла в калоріях у годину за відстанню, пройденою за третю та четверту хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

27. **Watt_4min** – потужність помаху весла у ваттах за відстанню, пройденою за третю та четверту хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

28. **Meters_6min** – відстань у метрах, пройдена за п’яту та шосту хвилини виконання тесту. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

29. **Avg SPM_6min** – середня кількість помахів весла за п’яту та шосту хвилини виконання тесту, отримана шляхом імпорту даних з монітору;

30. **/500m_6min** – час на проходження 500 м за відстанню, пройденою за п’яту та шосту хвилини хвилини. Отриманий шляхом імпорту даних з монітору;

31. **Cal/hr_6min** – потужність помаху весла в калоріях у годину за відстанню, пройденою за п’яту та шосту хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору;

32. **Watt_6min** – потужність помаху весла у ваттах за відстанню, пройденою за п’яту та шосту хвилини. Отримана шляхом імпорту даних з монітору.

З вихідного набору проведено первинний аналіз вихідних даних за допомогою мови Python з використанням бібліотеки Pandas. З її допомогою дуже зручно завантажувати, обробляти та аналізувати табличні дані за допомогою SQL-подібних запитів. У зв'язці з бібліотеками Matplotlib та Seaborn з'являється можливість зручного візуального аналізу табличних даних. Основними структурами даних у Pandas є класи Series та DataFrame. Перший є одновимірним індексованим масивом даних деякого фіксованого типу. Другий є двовимірною структурою даних, кожен стовпець якої містить дані одного типу. DataFrame чудово підходить для представлення реальних даних: рядки відповідають ознаковим описам окремих об'єктів, а стовпці відповідають ознакам.

Зокрема, у Pandas у структуру DataFrame було імпортовано дані з файлу xlsx. Достатньо зручним інструментом при аналізі даних є Jupyter Notebook, що представляє середовище розробки, в якому одразу можна побачити результат виконання коду та його окремих фрагментів. На рис. 1 представлено результат імпорту вихідного набору даних, описаного вище, у структуру DataFrame з використанням Jupyter Notebook.

За допомогою методу датафрейму можна отримати основні статистичні характеристики даних за певною ознакою, а саме число непропущених значень, середнє, стандартне відхилення, діапазон, медіану, 0.25 та 0.75 квартили,

```
import numpy as np
import pandas as pd

pd.set_option("display.precision", 2)

df = pd.read_excel('./ConceptData_Full.xlsx')

df.head()
```

	ID	Name	Sex	Nationality	Age	Date	Time	ConceptNumber	Meters_2min	SPM_2min	...	Watt_6min	Meters	Avg SPM	/500m	Cal/hr	Watt	HeartRat
0	1	Аркушенко Ярослав	ч	Ukrainian	20	29.11	16.01	5	566	27	...	180	1547	24	01:56.3	1064	222	
1	2	Коверівський Едуард	ч	Ukrainian	19	29.11	9.45	5	464	32	...	191	1431	30	02:05.7	905	176	
2	3	Чоплов Денис	ч	Ukrainian	19	29.11	10.59	5	500	35	...	126	1346	33	02:13.7	803	146	
3	4	Калабурда Микита	ч	Ukrainian	20	29.11	12.21	8	618	33	...	240	1690	29	01:46.5	1296	290	
4	5	Манзюк Андрій	ч	Ukrainian	19	29.11	12.21	5	539	32		163	1463	29	02:03.0	946	188	

5 rows × 32 columns

Рис. 1. Імпорт даних з xlsx-файлу в DataFrame та його відображення

мінімальне та максимальне значення. На рис. 2 наведено результати використання методу describe на прикладі кількісної ознаки віку студента.

```
df["Age"].describe()
```

```
count    195.00
mean      19.31
std        1.44
min       17.00
25%       18.00
50%       19.00
75%       20.00
max       25.00
Name: Age, dtype: float64
```

Рис. 2. Отримання статистичних характеристик за ознакою Age

Достатньо зручним інстументом у Pandas є логічна індексація датафрейму за одним стовпцем. Її підсумком є датафрейм, що складається лише з рядків, які відповідають зазначеній умові за певною ознакою. Це допомагає отримати відповіді на певні конкретні питання при первинному аналізі даних. Для прикладу, отримаємо середню відстань, пройдену 20-річними студентками (рис. 3):

```
df[(df["Age"] == 20) & (df["Sex"] == "ж")]["Meters"].mean()
```

```
1106.9
```

Рис. 3. Використання логічної індексації дата фреймів

Корисною можливістю датафреймів також є групування даних за певною однакою, що нагадує речення GROUP BY у мові SQL для реляційних баз даних. Так, наприклад, можна отримати середні значення пройденої відстані у розрізі статі та національності студентів (рис. 4).

Представлені вище можливості датафреймів у бібліотеці Pandas дозволяє у певній мірі провести візуальний аналіз даних. В тім результати аналізу стають більш наглядними з використанням візуалізації. Pandas надає деякі можливості побудови графіків.

```
df.groupby(["Sex","Nationality"])["Meters"].mean()
```

```
Sex  Nationality
ж    Indian         1000.46
     Ukrainian      1156.65
ч    Indian         1210.60
     Ukrainian      1390.64
Name: Meters, dtype: float64
```

Рис. 4. Групування даних у датафреймі за ознаками

За допомогою scatter_matrix було візуалізовано попарні залежності між пройденими відстанями впродовж перших двох хвилин, наступних двох хвилин та останніх двох хвилин. Результатом є матриця, у кожній комірці якої представлено графік залежності між двома відповідними ознаками, а на головній діагоналі представлено графіки розподілу відповідної ознаки. Результат представлено на рис. 5.

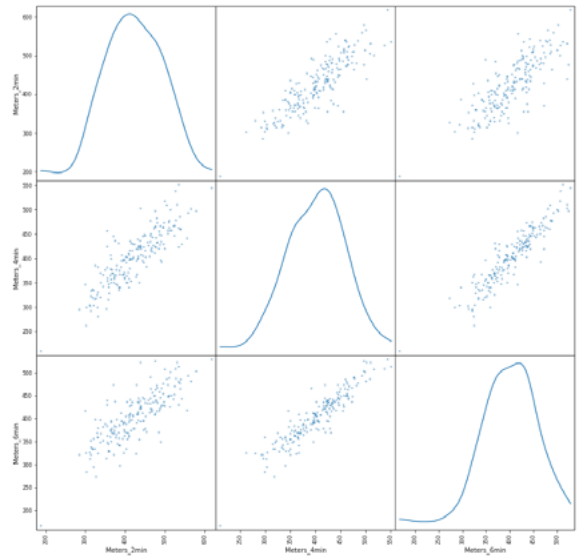


Рис. 5. Графіки попарних залежностей між пройденими відстанями за певний період часу

Іншим способом візуалізації розподілу числових змінних полягає у побудові їх гістограм. Форма гістограми може містити підказки про основний тип розподілу. Знання розподілу значень ознак стає важливим при використанні методів машинного навчання, які передбачають певний тип. На рис. 6 представлено гістограми розподілу кількісних ознак пройдених відстаней за певні хвилини виконання тесту.

На наведеному вище графіку ми бачимо, що пройдена відстань за перші дві хвилини тесту розподілена нормально, тоді як пройдені відстані за всередині часу виконання тесту (третя та четверта хвилини) та наприкінці виконання тесту (п’ята та шоста хвилини) мають помітний перекіс вправо.

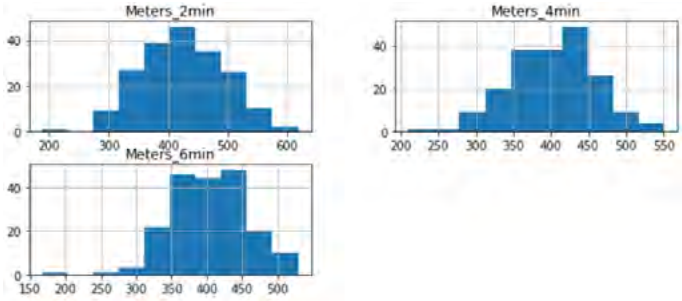


Рис. 6. Гістограми розподілу пройдених відстаней

Не менш важливим у первинному аналізі є виявлення залежностей між ознаками. За допомогою бібліотеки Seaborn побудуємо матрицю кореляції між кількісними ознаками віку, маси, зросту, пульсом перед та після виконання тесту та кількостями пройденої відстані у певний проміжок часу та загалом (рис. 7):

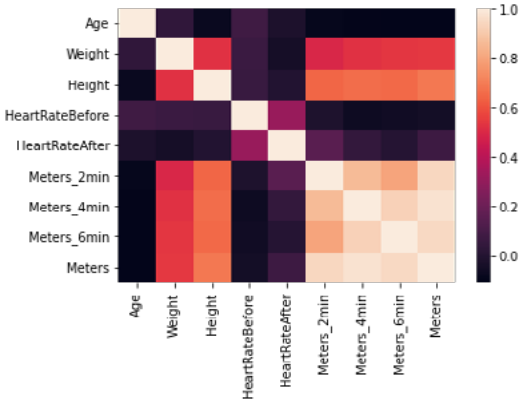


Рис. 7. Кореляційна матриця залежності кількісних ознак

Як видно з рисунку, вік майже не має залежності з іншими змінними, існує слабка залежність між ним та масою тіла, а також з величинами пульсів до та після виконання тесту. В тім величини пройдених відстаней за певний період часу та загальної відстані між собою мають високу кореляцію, і тому при застосуванні певних методів машинного навчання, наприклад лінійної та логістичної регресії, можуть бути погано оброблені.

Слід зазначити, що у кореляційній матриці не зазначені інші кількісні ознаки, такі як час, витрачений на проходження 500 м, кількість помахів їх потужність. Можна дослідити залежності між ознаками попарно. Так, наприклад, можна побудувати діаграму розсіювання ознак кількості помахів та маси тіла студента (рис. 8).

У наведеної вище діаграмі можна отримати візуальну інформацію про розподіл відповідних кількісних ознак та залежність між ними. З графіку можна побачити, що між величинами кількості помахів та маси тіла є слабка кореляція.

Візуальна інформація може бути ще більш наглядною при додаванні до графіку категоріальної ознаки. Виділимо залежність між кількістю помахів та вагою студента окремо у розрізі хлопчиків та дівчаток (рис. 9).

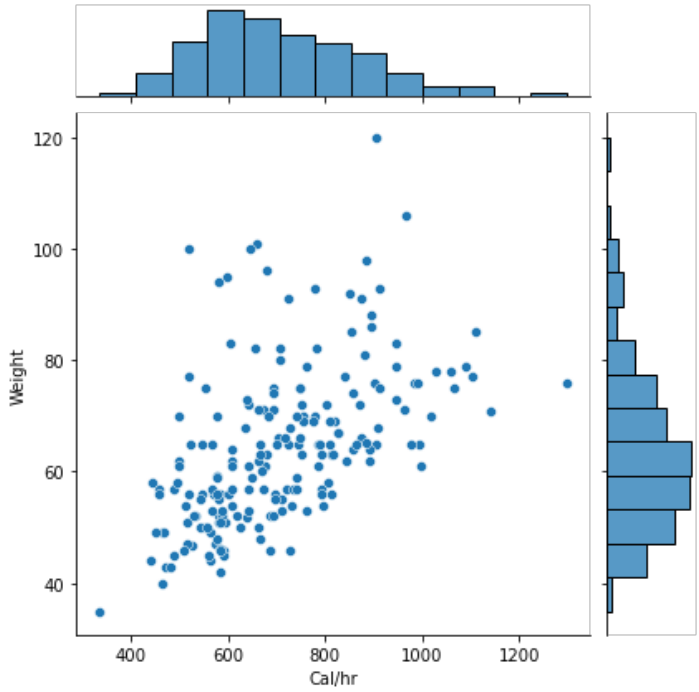


Рис. 8. Діаграма розсіювання ознак кількості помахів та маси тіла студента

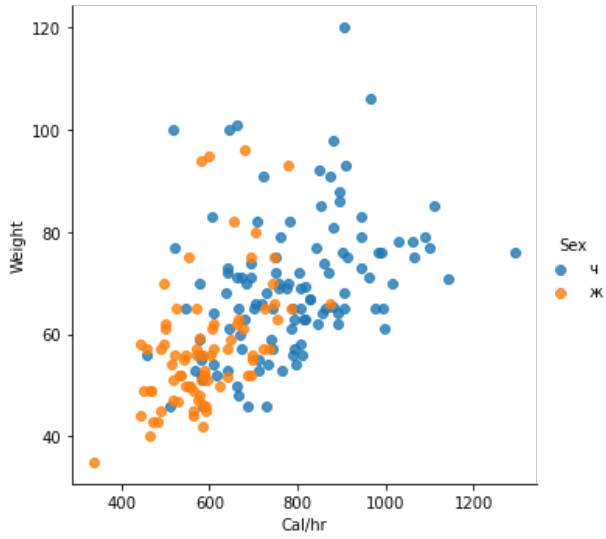


Рис. 9. Діаграма розсіювання ознак кількості помахів та маси тіла студента у розрізі категоріальної ознаки статі

Подібним чином можна візуалізувати залежності між іншими кількісними ознаками вхідного набору даних. У тім із діаграм поки неможливо робити глибокі висновки, для цього слід використати методи машинного навчання.

Висновки. У статті представлено дослідження спортивних результатів з академічного веслування студентів ЧНУ імені Петра Могили шляхом первинного та візуального аналізу ознак вхідного набору даних з використанням мови програмування Python та бібліотек Pandas, Matplotlib та Seaborn. Даний аналіз буде однією з частин майбутньої системи збору даних, моніторингу, аналізу та прогнозування спортивних результатів. У подальшому планується більш глибокий аналіз із використанням методів машинного навчання та штучного інтелекту, а також та реалізація за допомогою фреймворку Django вебзастосунку для фіксації даних спортивних тренувань та тестів замість ведення паперових протоколів викладачів із фізичного виховання. У подальшому система на основі глибокого аналізу даних зможе зробити прогнози наступних результатів та підібрати необхідні режими тренування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Закон України «Про Концепцію Національної програми інформатизації». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75/98-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення: 03.04.2022)

2. Ofoghi B., Zeleznikow J., MacMahon C., Raab M. Data mining in elite sports: a review and a framework. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2013. Vol. 17(3). pp. 171-186.

3. Ghasemzadeh H., Jafari R. Coordination analysis of human movements with body sensor networks: A signal processing model to evaluate baseball swings. *IEEE Sensors Journal.* 2011. Vol. 11(3). pp. 603-610.

4. Baca A. Methods for recognition and classification of human motion patterns-a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities. *IFAC Proceedings Volumes.* 2012. Vol. 45(2). pp. 55-61.

5. Lamb P., Bartlett R., Robins A. Self-organizing maps: An objective method for clustering complex human movement. International Journal of *Computer Science in Sport.* 2010. Vol. 9(1). pp. 20-29.

6. Bartlett R. Artificial intelligence in sports biomechanics: New dawn or false hope. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2006. 5(4). pp. 474-479.

7. Novatchkov H., Baca A. Fuzzy logic in sports: a review and an illustrative case study in the field of strength training. *International Journal of Computer Applications*. 2013. 71(6). pp. 8-14.

8. Novatchkov H., Baca A. Artificial intelligence in sports on the example of weight training. *Journal of sports science & medicine.* 2013. Vol. 12(1). pp. 27-37.

9. Lu W. L., Ting J. A., Little J. J., Murphy K. P. Learning to track and identify players from broadcast sports videos. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2013. Vol. 35(7). pp. 1704-1716.

REFERENCES:

1. Zakon Ukrainy «Pro Kontseptsiiu Natsionalnoi prohramy informatyzatsii» [The Law of Ukraine "On the Concept of the National Informatization Program"] (n.d.). zakon.rada.gov.ua. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75/98-%D0%B2%D1%80#Text [in Ukrainian].

2. Ofoghi B., Zeleznikow J., MacMahon C., Raab M. Data mining in elite sports: a review and a framework. Measurement in Physical Education and Exercise Science. 2013. Vol. 17(3). pp. 171-186.

3. Ghasemzadeh H., Jafari R. Coordination analysis of human movements with body sensor networks: A signal processing model to evaluate baseball swings. IEEE Sensors Journal. 2011. Vol. 11(3). pp. 603-610.

4. Baca A. Methods for recognition and classification of human motion patterns-a prerequisite for intelligent devices assisting in sports activities. IFACProceedings Volumes. 2012. Vol. 45(2). pp. 55-61.

5. Lamb P., Bartlett R., Robins A. Self-organizing maps: An objective method for clustering complex human movement. International Journal of Computer Science in Sport. 2010. Vol. 9(1). pp. 20-29.

6. Bartlett R. Artificial intelligence in sports biomechanics: New dawn or false hope. Journal of Sports Science and Medicine. 2006. 5(4). pp. 474-479.

7. Novatchkov H., Baca A. Fuzzy logic in sports: a review and an illustrative case study in the field of strength training. International Journal of Computer Applications. 2013. 71(6). pp. 8-14.

8. Novatchkov H., Baca A. Artificial intelligence in sports on the example of weight training. Journal of sports science & medicine. 2013. Vol. 12(1). pp. 27-37.

9. Lu W. L., Ting J. A., Little J. J., Murphy K. P. Learning to track and identify players from broadcast sports videos. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2013. Vol. 35(7). pp. 1704-1716.

УДК 535-7, 535.016, 53.043
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.4

ВЛАСТИВОСТІ СЕНСОРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ З ПІДШАРОМ ІТО

Дорожинська Г. В. *– Ph.D.,*
асистент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-9352-3761

Федоренко А. В. *– Ph.D., молодший науковий співробітник*
Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0001-6201-6129

Дорожинський Г. В. *– кандидат технічних наук,*
старший науковий співробітник
Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0002-7881-2493

Маслов В. П. *– доктор технічних наук, професор,*
завідувач відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства
Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0001-7795-6156

В результаті досліджень оптичних та електричних властивостей ППР-сенсорів з додатковим підшаром ІТО визначено вплив цього підшару на кутове положення плазмонного резонансу та на значення діелектричної проникності металевого шару. Досліджувались наступні оптичні та електричні характеристики: спектри пропускання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, резонансний кут рефрактометричних характеристик, абсолютні діелектричні проникності відповідних шарів наноструктури, вольт-ватні характеристики плівки ІТО, а також температурні залежності кутового положення резонансного кута при самонагріванні структури. Також досліджувалось ефективність застосування плівкового нагрівача у порівнянні з резистивним об'ємним. За результатами чисельного моделювання рефрактометричних характеристик ППР наноструктур «ІТО-Аи-ПТФЕ» в діапазоні довжин хвиль від 500 до 1600 нм було встановлено, що збільшення товщини ІТО практично не впливає на зсув кутового положення резонансу (0,4 кут.сек./нм), а зростання товщини плівки ПТФЕ суттєво його зсуває (0,33 град./нм). Експериментальні дослідження показали вплив наявності підшару ІТО оптимальної товщини, як на кутове положення плазмонного резонансу, так і на значення діелектричної проникності плазмонзбуджуючого шару. Визначено оптимальні товщини для шарів ІТО (66 нм) та ПТФЕ (від 10 нм до 40 нм). Середнє значення уявної складової абсолютної діелектричної проникності ε_{ai} зменшилось на 10% з 9,548 пФ/м до 8,554 пФ/м, що позитивно вплинуло на зменшення втрат. Встановлено нелінійну залежність резонансного кута від температури самонагрівання наноструктури: спочатку значення резонансного кута зменшувалось, а потім при температурі 47 °С – резонансний кут зростав, що свідчило про зміну оптичних констант шарів чутливого елемента ППР-сенсора. Проведені дослідження дозволяють вдосконалити процес розробки оптоелектронних ППР-приладів та перспективних для дослідження напівпровідникових матеріалів для наноплазмоніки.

Ключові слова: *поверхневий плазмонний резонанс, ІТО, політетрафторетилен.*

Dorozinska H. V., Fedorenko A. V., Dorozinsky G. V., Maslov V. P. Properties of surface plasmon resonance sensors with ito layer

As a result of studies of optical and electrical properties of SPR sensors with an additional ITO sublayer, the influence of this sublayer on the angular position of the plasmon resonance and on the value of the dielectric constant of the metal layer was determined. The following optical and electrical characteristics were studied: transmission spectra in the visible and near infrared wavelength range, resonant angle of refractometric characteristics, absolute dielectric constant of the corresponding nanostructure layers, volt-watt characteristics of ITO film, and temperature dependences of the angular position. The effectiveness of the film heater compared to the resistive volume heater was also studied. According to the results of numerical modeling of refractometric characteristics of SPR nanostructures "ITO-Au-PTFE" in the wavelength range from 500 to 1600 nm, it was found that increasing the thickness of ITO has little effect on the shift of the angular position of the resonance (0.4 angular sec / nm) , and increasing the thickness of the PTFE film significantly shifts it (0.33 deg./nm). Experimental studies have shown the effect of the presence of the ITO sublayer of optimal thickness, both on the angular position of the plasmon resonance and on the value of the dielectric constant of the plasmon excitation layer. The optimal thicknesses for the ITO (66 nm) and PTFE layers (from 10 nm to 40 nm) were determined. The average value of the apparent component of the absolute dielectric constant εai decreased by 10% from 9,548 pF / m to 8,554 pF / m, which had a positive effect on the reduction of losses. The nonlinear dependence of the resonance angle on the nanostructure self-heating temperature was established: first the value of the resonance angle decreased, and then at 47 ° C the resonance angle increased, which indicates the change of optical constants of the SPR sensor sensing element layers. The conducted researches allow to improve the process of development of optoelectronic SPR devices and are perspective for research of semiconductor materials for nanoplasmonics.

Key words: *surface plasmon resonance, ITO, polytetrafluoroethylene.*

Вступ. Розроблення високих технологій напівпровідникових матеріалів, оптоелектронних приладів, сенсорних інтелектуальних систем є провідним напрямком технологічного оновлення різних галузей економіки. Широкого використання набули оптоелектронні прилади з використанням хімічних та біологічних сенсорів, які складаються з чутливого елемента та фізичного перетворювача [1]. Зокрема, прилади на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) є перспективним оптичним методом аналізу. В якості чутливих елементів таких приладів застосовуються дорогоцінні метали, а саме: срібло та золото [2]. В якості додаткового шару застосовують провідникові оксиди. Оксиди металів покривають шари золота або срібла для посилення адсорбційних властивостей і хвилеводного посилення відгуку сенсора на зміну показника заломлення аналіту [3]. Одним з перспективних матеріалів для наноплазмоніки є напівпровідник ІТО (In_2O_3-SnO), тонкі плівки якого переважно використовують в якості прозорих електродів для сонячних елементів [4]. Нещодавно [5] було заявлено про застосування наноструктурованих плівок ІТО для збудження ППР для р-поляризованого падаючого світла. Для зменшення взаємного впливу поверхні сенсора та досліджуваного середовища, а також для довготривалого використання сенсора, його додатково покривають інертним захисним шаром, наприклад, політетрафторетиленом (ПТФЕ). Плівки ПТФЕ використовуються як захисні, антифрикційні і діелектричні шари [6]. Додатковий шар ПТФЕ використовують в сенсорах на основі ППР як в ролі проміжного шару між призмою та металом – цитопу – для збудження довгопробіжних поверхневих плазмонів [7], так і як верхній шар-фільтр для виділення дрібних молекул у водних розчинах [8]. В нашій попередній роботі [9] показано ефективність застосування плівки ПТФЕ у газовому ППР-сенсорі при дослідженні випарів органічних розчинників.

Як показано в попередніх роботах [10; 11], врахування температурного фактора є суттєвим для підвищення точності вимірювань при використанні ППР-приладів.

Для зменшення впливу температурного фактора на результати вимірювань показника заломлення застосовують методи термостабілізації та термічної компенсації. Термічна стабілізація – це підтримання заданої температури пристрою, а також резервуарів з аналітами [12], що забезпечується резистивними нагрівачами та/або елементами Пельтьє. Для розширення діапазону регулювання температури та швидкого реагування слід збільшити споживану ними електроенергію. Однак це призводить до збільшення розмірів і потужності, споживаної SPR-пристроями, а також часу на передачу тепла від обігрівача. Термічна компенсація зменшує лише температурний дрейф, і вона ефективна лише в стаціонарних температурних режимах [13]. Наявність в ІТО електричної провідності дозволяє застосовувати його у якості плівкового нагрівача нанорозмірної товщини [14].

Метою роботи було дослідження оптичних та електричних властивостей ППР-сенсора до складу чутливого елементу якого, окрім плазмон-носійного шару золота, входить адсорбційний зовнішній шар ПТФЕ та тонкоплівковий нагрівач у вигляді нанорозмірної плівки ІТО розташованої під шаром золота.

Методи та матеріали. Для визначення оптимальної товщини підшару ІТО та верхнього шару ПТФЕ було виконано чисельне моделювання та побудову теоретичної рефрактометричної характеристики для багатошарової системи і р-поляризованого монохроматичного падаючого випромінювання для довжини хвилі 650 нм. Рефрактометричну характеристику розраховували як функцію кута падіння, використовуючи формули Френеля і математичний формалізм матриць розсіювання Джонса [15], на основі методики [16].

Композиційні тонкі плівки ІТО (In_2O_3-20%; SnO_2-80%) оптимальної товщини формували магнетронним осадженням на підкладки зі скла марки К8 товщиною 1 мм і розмірами 20 × 20 мм. Потім після нанесення шару ІТО (крім референтних) на одну зі сторін скляних пластинок було осаджено шар золота товщиною 48±5 нм термічним випаровуванням у вакуумі на обладнанні ВУП-5М зі швидкістю 5…6 нм/сек при залишковому тиску 2×10^{-5} Па. Товщина плівок контролювалась в процесі нанесення приладом КИТ-1. Плівки ПТФЕ осаджувались термічним випаровуванням у вакуумі на обладнанні УВН-74 зі швидкістю 2…4 нм/сек при залишковому тиску $(3…4)\times10^{-2}$ Па. Товщина плівок контролювалась в процесі нанесення приладом Sigma Instruments SQM – 242 з похибкою вимірювання ±0,01 нм. Для експериментального визначення впливу підшару ІТО на оптичні характеристики ППР-сенсорів було виготовлено 8 зразків: 4 основні «ІТО-Au-ПТФЕ» та 4 референтні «Au-ПТФЕ» з різною товщиною плівки ПТФЕ 0, 10, 20 та 30 нм. Також для порівняння було досліджено 2 зразки без шару ПТФЕ: «ІТО-Au» та «Au».

Досліджувались наступні оптичні та електричні характеристики: спектри пропускання у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, резонансний кут рефрактометричних характеристик, абсолютні діелектричні проникності відповідних шарів наноструктури, вольт-ватні характеристики плівки ІТО, а також температурні залежності кутового положення резонансного кута при самонагріванні структури. Також досліджувалось ефективність застосування плівкового нагрівача у порівнянні з резистивним об’ємним.

Спектри пропускання були виміряні спектрофотометром MAPADA UV1600. Рефрактометричні характеристики ППР для досліджуваних зразків були виміряні ППР-приладом «Плазмон-6», розробленим в Інституті фізики напівпровідників імені В.Є.Лашкарьова НАН України. Довжина хвилі випромінювання напівпровідникового лазера приладу для збудження поверхневих плазмонів становила 650 нм. Рефрактометр працював в режимі періодичного кутового сканування

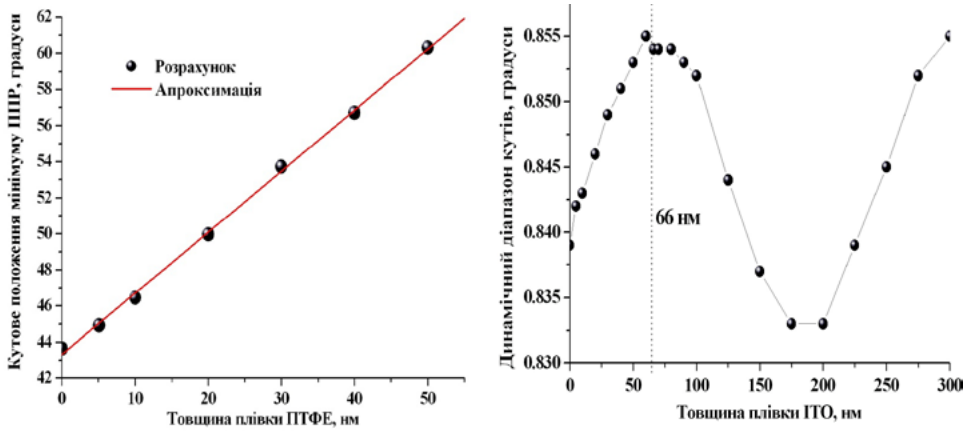
та одночасного запису мінімуму рефрактометричної характеристики. Зразки по черзі встановлювались на робочу грань скляної напівпентапризми приладу «Плазмон-6», яка була виготовлена з оптичного скла марки К8 через імерсійну рідину (масло імерсійне ТУ 9398-011-29508133-2009, n_D = 1,5175±0,0002) та вимірювались їх рефрактометричні характеристики. В якості досліджуваного середовища використовували кімнатне повітря. Дослідження проводились за нормальних умов (P=10^5 Па, T=293 К). За виміряними рефрактометричними характеристиками визначались критичний та резонансний кути.

При дослідженні наноструктур з тонкими плівками ІТО в якості нагрівачів визначали споживану ними потужність по виміряним вольт-амперним характеристикам, з одночасним вимірюванням приросту їх температури за рахунок самонагрівання. Напругу на зразок подавали від блоку живлення потужністю 10 Вт з плавним регулюванням вихідної напруги від 1,5 до 31 В з похибкою ±0,1 В. Електричний контакт між джерелом напруги і плівкою ІТО забезпечували мідними пластинами завтовшки 0,3 мм розмірами 18 × 2 мм, до яких під'єднували щупи джерела напруги. Для вимірювання напруги і струму через зразок застосовувалися цифрові вольтметри DT-830B з похибкою вимірювання напруги 0,5%. Температуру вимірювали вольтметром DT-838 з термопарою, яка контактувала з поверхнею композитної плівки. Похибка вимірювання температури становила ±0,2 К. Також проводили аналогічні вимірювання при пасивному нагріві зразків без прикладання напруги. Для цього застосовували резистивний нагрівач з константану (опір нагрівача 42 Ома при T=20°C), який живився напругою 12 В та був вбудований у вимірювальну кювету приладу «Плазмон-6», яка розташовувалась безпосередньо над досліджуваною структурою. Для вимірювання температури поверхні структури у вимірювальну кювету приладу було вбудовано резистивний сенсор температури M222Pt100 (Heraeus Sensor Technology, Німеччина) з лінійною температурною характеристикою в діапазоні від -203 К до +773 К і початковим опором 1 кОм при температурі 293 К (DIN EN6075, IEC 751).

Результати та дискусія. Для визначення оптимальної товщини шарів ІТО та ПТФЕ по відношенню до діапазону вимірювання кутів приладом «Плазмон-6» було виконано чисельне моделювання рефрактометричних характеристик наноструктури «ІТО-Au-ПТФЕ» при зміні товщини ІТО від 5 до 300 нм за постійної товщини ПТФЕ у 30 нм, а також при зміні товщини ПТФЕ від 5 до 60 нм за постійної товщини ІТО (66 нм). Залежність кутового положення мінімуму рефрактометричної характеристики від товщини ПТФЕ наведено на рисунку 1, а. Залежність динамічного діапазону вимірювання резонансних кутів при режимі вимірювання на схилі рефрактометричної характеристики наведено на рисунку 1, б.

Діапазон вимірювання резонансних кутів приладом становив 38…56 градусів, для якого можливо записати повну рефрактометричну характеристику, а не лише її мінімум, що необхідно для коректного визначення оптичних констант шарів. Тому оптимальний діапазон товщини ПТФЕ становить до 40 нм, а оптимальна товщина шару ІТО становить 66 нм, що забезпечує найбільший динамічний діапазон вимірювання кута ППР в діапазоні товщини ІТО 0…200 нм. Результати моделювання показали, що збільшення товщини ІТО практично не впливало на кутове положення резонансу (0,4 кут.сек./нм), в той час як збільшення товщини плівки ПТФЕ суттєво зсувало резонансний кут (0,33 град./нм).

Виміряні спектри пропускання структур «ІТО-Au-ПТФЕ» та «Au-ПТФЕ» при наявності та відсутності діелектричного шару товщиною 30 нм наведено на рисунку 2.



а) *б)*

Рис. 1. Розраховані залежність мінімуму рефрактометричної характеристики від товщини ПТФЕ (а) та динамічного діапазону кутів ППР від товщини ІТО (б)

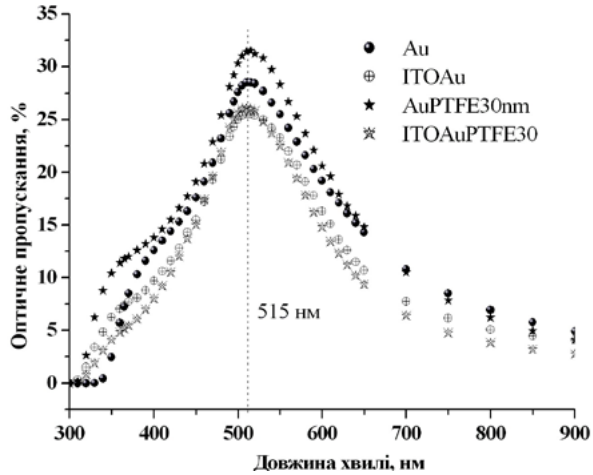


Рис. 2. Спектри пропускання для структур «ІТО-Au-ПТФЕ» та «Au-ПТФЕ» для товщини шару політетрафторетилена 30 нм

Залежності зсуву максимуму коефіцієнту пропускання на довжині хвилі 515 нм від товщини шару ПТФЕ зображено на рисунку 3.

Результати аналізу спектрів пропускання свідчать про ефект оптичного просвітлення при застосуванні ПТФЕ, тому навіть при наявності поглинаючої плівки ІТО інтенсивність оптичного пропускання зростала.

По виміряним рефрактометричним характеристикам було визначено значення резонансних кутів та розраховано значення абсолютної діелектричної проникності ε_a для відповідних шарів наноструктур. Графіки залежності кутового положення резонансу від товщини шару ПТФЕ мали лінійний характер і для «ІТО-Au-ПТФЕ» та «Au-ПТФЕ» були зсунуті один відносно одного на величину приблизно 2 градуси (Рис. 4).

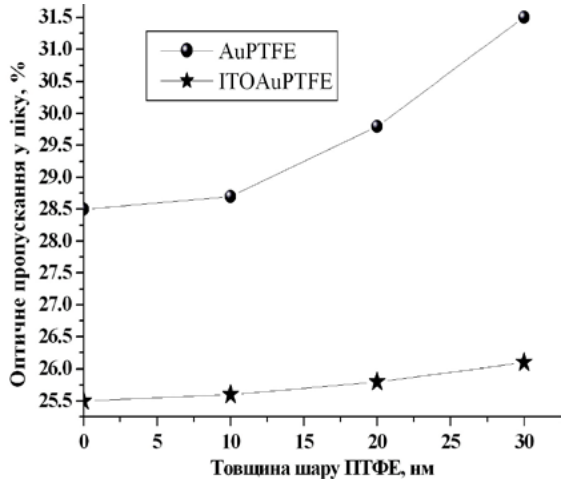


Рис. 3. Залежність коефіцієнта оптичного пропускання на довжині хвилі 515 нм для структур «ІТО-Аи-ПТФЕ» та «Аи-ПТФЕ» від товщини ПТФЕ

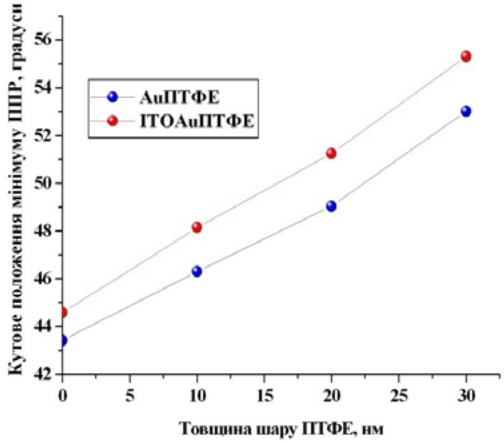


Рис. 4. Залежність кутового положення мінімуму ППР від товщини зовнішнього шару ПТФЕ для структур «ІТО-Аи-ПТФЕ» та «Аи-ПТФЕ»

Розраховані значення абсолютної діелектричної проникності наведені в Таблиці 1. В таблиці наведені дійсна ε_{ar} та уявна ε_{ai} складові комплексної діелектричної проникності.

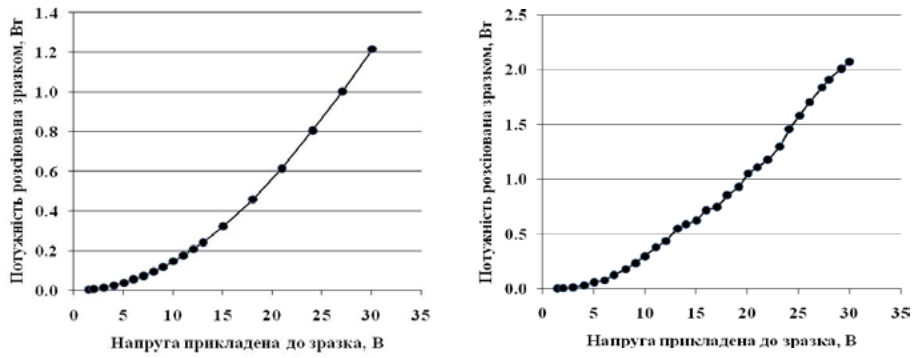
Таблиця 1

Розрахована діелектрична проникність шарів наноструктури

Товщина ПТФЕ, нм	Абсолютна діелектрична проникність шарів структури ε_a, пФ/м							
	Структура «Au-ПТФЕ»			Структура «ІТО-Au-ПТФЕ»				
	ε_a ПТФЕ	ε_{ar} Au	ε_{ai} Au	ε_{ar} ІТО	ε_{ai} ІТО	ε_a ПТФЕ	ε_{ar} Au	ε_{ai} Au
0	-	-109,23	8,403	3,116	0,012	-	-75,422	9,165
10	15,5443	-123,05	11,433			15,5208	-85,821	8,335
20	15,8035	-121,51	8,731			15,7562	-90,713	8,057
30	15,8745	-122,53	9,625			15,8271	-86,804	8,660

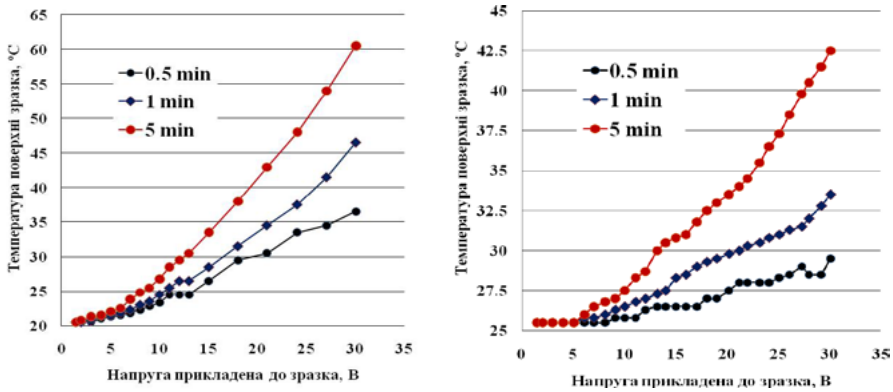
Наявність підшару ІТО призводить до зменшення середнього значення уявної складової абсолютної діелектричної проникності ε_{ai} на 10% з 9,548 пФ/м до 8,554 пФ/м, що може бути пов'язано з процесом росту плівки золота на підкладинці з ІТО та без нього.

За виміряними вольт-амперними характеристиками були розраховані залежності теплової потужності, яка спостерігається на зразках, від прикладеної до них напруги (Рис. 5). На рисунку 6 показано виміряні залежності температури поверхні зразка від напруги прикладеної до нього за різної тривалості нагріву 0.5, 1 та 5 хвилин. Результати поточних досліджень були порівняні з попередніми нашими дослідження для плівок ІТО в роботі [14]. Зростання розсіюваної зразком потужності пов'язано зі збільшенням струму через зразок внаслідок електричного шунтування плівки ІТО плівкою золота. Порівняння вольт-ватних характеристик показало зменшення питомого опору у 1,8 рази з 38 мОм·см до 21 мОм·см при наявності зовнішніх шарів золота та ПТФЕ. При цьому для структури ІТО-Au була більша швидкість самонагрівання (3,6°С/хв), ніж для плівки ІТО без золота (2,5°С/хв).



а) *б)*

Рис. 5. Залежність потужності, що розсіюється зразком, від напруги прикладеної до нього для ІТО без додаткових зовнішніх шарів [14] (а) та з ними (б).



а) *б)*

Рис. 6. Залежність температури поверхні зразків від напруги прикладеної до плівки ІТО без додаткових зовнішніх шарів [14] (а) та з ними (б)

Для дослідження впливу температури нагріву на оптичні характеристики наноструктур вимірювали залежності кутового положення мінімуму рефрактометричної характеристики від температури. Для зменшення впливу коливання температури довкілля прилад під час вимірювання розташовували в термобоксі, в якому підтримували температуру 20°С. Виміряні залежності мають дві характерні ділянки: одна в діапазоні температур від 25°С до 47°С, а інша від 47°С до 52°С (Рис. 7). На першій ділянці характеристика має спадаючий характер, а на другій зростаючий.

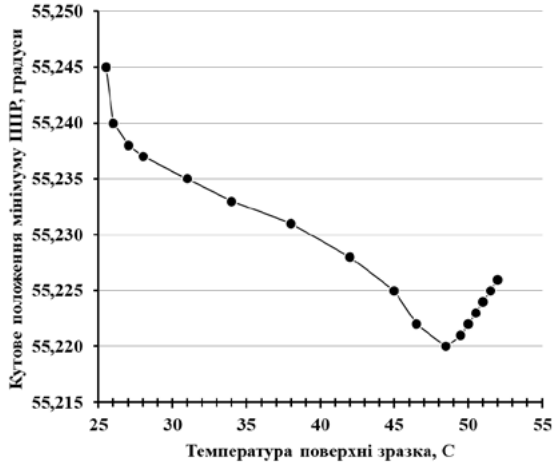


Рис. 7. Залежність кутового положення резонансного кута від температури нагріву

Таке явище можна пояснити дією двох чинників на зміну показника заломлення зразків, що визначає кутове положення мінімуму рефрактометричної характеристики при ППР. Одним чинником був дрейфовий струм носіїв заряду через зразок, а другим чинником – температурна залежність показника заломлення. Тому, поки температура зразка невисока, переважаючим є перший чинник, а при досягненні певної критичної температури (47°С) головну роль починає відігравати вплив температури.

Для визначення ефективності застосування плівки ІТО в якості нагрівача було визначено швидкість нагріву до температури +55°С та споживана потужність при фіксованій напрузі живлення (30 В) і порівняно з споживаною потужністю резистивним нагрівачем при досягненні аналогічної температури. При застосування плівки ІТО як нагрівача поверхня зразка за 20 хвилин при потужності споживання 2,3 Вт нагрілась до температури 54,8°С, а резистивному нагрівачу для досягнення температури у 55°С була необхідна потужність 3,4 Вт при напрузі 12 В. Таким чином, використання плівкового нагрівача дозволило зменшити потужність споживання більш ніж в 1,5 рази.

Висновки. Проведено теоретико-експериментальне дослідження оптичних та електричних властивостей ППР-сенсорів з додатковим підшаром ІТО. Для цього було виконано чисельного моделювання рефрактометричних характеристик ППР наноструктур «ІТО-Au-ПТФЕ» в діапазоні довжин хвиль збудження поверхневих плазмонів від 500 до 1600 нм, за результатами якого було встановлено, що збільшення товщини ІТО практично не впливає на зсув кутового положення

резонансу (0,4 кут.сек./нм), а зростання товщини плівки ПТФЕ суттєво його зсуває (0,33 град./нм). Також було визначено оптимальні товщини для шарів ІТО (66 нм) та ПТФЕ (від 10 нм до 40 нм). Експериментальні дослідження показали вплив наявності підшару ІТО оптимальної товщини, як на кутове положення плазмонного резонансу, так і на значення діелектричної проникності плазмонзбуджуючого шару. Незалежно від товщини зовнішнього шару ПТФЕ резонанс зміщувався приблизно на 2 градуси у сторону більших кутів, а середнє значення уявної складової абсолютної діелектричної проникності ε_{ai} зменшилось на 10% з 9,548 пФ/м до 8,554 пФ/м. Також було встановлено нелінійну залежність резонансного кута від температури самонагрівання наноструктури: спочатку значення резонансного кута зменшувалось, а потім при температурі 47°С – резонансний кут зростав.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Homola, J., Yee, S. and Gauglitz, G. Surface plasmon resonance sensors: review, Sensors and Actuators B 54, (1999) 3–15.

2. Yu.M. Shirshov, A.V. Samoylov, S.A. Zinyo, E.R. Surovceva, V.Mirskiy, “Bimetallic layers increase sensitivity of affinity sensors based on surface plasmon resonance”, *Sensors*, 2002, p. 62–70.

3. Nan-Fu Chiu, Yi-Chen Tu, Teng-Yi Huang, “Enhanced Sensitivity of Anti-Symmetrically Structured Surface Plasmon Resonance Sensors with Zinc Oxide Intermediate Layers”, *Sensors*, 2014, p. 170–187.

4. D. A. Grynko, A. N. Fedoryak, P. S. Smertenko, O. P. Dimitriev, N. A. Ogurtsov and A. A. Pud, “Hybrid solar cell on a carbon fiber”, *Nanoscale Research Letters*, Springer, 2016, pp. 265–273.

5. Innem V. A. K. Reddy, Josep M. Jornet, Alexander Baev, and Paras N. Prasad, "Extreme local field enhancement by hybrid epsilon-near-zero–plasmon mode in thin films of transparent conductive oxides," Opt. Lett. 45, 5744–5747 (2020)

6. K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, P. Lytvyn, [et al.]. Effect of magnetic field on film formation by means of polytetrafluoroethylene decomposition in vacuum, MATERIALS, TECHNOLOGIES, TOOLS – 2011, 16, No4, p. 56–59.

7. Hastings J. T., Guo J., Keathley P. D., Kumaresh P. B., Wei Y., Law S., and Bachas L. G. Optimal self-referenced sensing using long- and short- range surface plasmons. Optics express. 2007. 15, No 26. P. 17661–17672.

8. Masaru Mitsushio, Akimichi Nagaura, Toshifumi Yoshidome, Morihide Higo. Molecular selectivity development of Teflon® AF1600-coated gold-deposited surface plasmon resonance-based glass rod sensor. Progress in Organic Coatings.2015. 79. P. 62–67.

9. Дорожинська Г.В., Дорожинський Г.В., Маслов В.П., Гриценко К.П., Коломзаров Ю.В., Литвин П.М., Дорошенко Т.П. Особливості застосування додаткового наношару політетрафторетилену у сенсорах на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*, № 54 (2019). 88–95.

10. S. K. Ozdemir, G. Turhan-Sayan, “Temperature Effects on Surface Plasmon Resonance: Design Considerations for an Optical Temperature Sensor”, Journal of light wave technology, 2003, p. 805–815.

11. Anuj K. Sharma and Banshi D. Gupta, "Influence of temperature on the sensitivity and signal-to-noise ratio of a fiber-optic surface-plasmon resonance sensor," Appl. Opt. 45, 151–161 (2006).

12. G. Dorozinsky, V. Maslov, A. Samoylov, Yu. Ushenin, “Reducing measurement uncertainty of instruments based on the phenomenon of surface plasmon resonance”, *American Journal of Optics and Photonics*, 2013, p. 17–22.

13. Yu.V. Ushenin, V.P. Maslov, T.A. Turu, N.V. Kachur, “Application of temperature sensors for improving the device based on the phenomenon of surface plasmon”, *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*, Odessa, 2016, pp. 33–40.

14. Maslov V.P., Kachur N.V., Dorozinsky G.V. Investigation of Sensors Based on ITO Nanofilms in SPR-Devices. *American Journal of Optics and Photonics*, Vol. 4, № 3 (2016) 20–24.

15. Аззам Р.Эллипсометрия и поляризованный свет. / Р. Аззам, Н. Башара. М. : Мир, 1981. 583 с.

16. Chegel V. I., Shirshov Yu. M., Kostyukevich S. O., [et al.] Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As_2S_3 structure susing surface plasmon resonance spectroscopy. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. 2001. 4, No 4. P. 301–306.

REFERENCES:

1. Homola, J., Yee, S. and Gauglitz, G. Surface plasmon resonance sensors: review, Sensors and Actuators B 54, (1999). 3–15.

2. Yu.M. Shirshov, A.V. Samoylov, S.A. Zinyo, E.R. Surovceva, V.Mirskiy, "Bimetallic layers increase sensitivity of affinity sensors based on surface plasmon resonance", *Sensors*, 2002, p. 62–70.

3. Nan-Fu Chiu, Yi-Chen Tu, Teng-Yi Huang, "Enhanced Sensitivity of Anti-Symmetrically Structured Surface Plasmon Resonance Sensors with Zinc Oxide Intermediate Layers", *Sensors*, 2014, p. 170–187.

4. D. A. Grynko, A. N. Fedoryak, P. S. Smertenko, O. P. Dimitriev, N. A. Ogurtsov and A. A. Pud, "Hybrid solar cell on a carbon fiber", *Nanoscale Research Letters*, Springer, 2016, pp. 265–273.

5. Innem V. A. K. Reddy, Josep M. Jornet, Alexander Baev, and Paras N. Prasad, "Extreme local field enhancement by hybrid epsilon-near-zero–plasmon mode in thin films of transparent conductive oxides," Opt. Lett. 45, 5744–5747 (2020).

6. K. Grytsenko, Yu. Kolomzarov, P. Lytvyn, [et al.]. Effect of magnetic field on film formation by means of polytetrafluoroethylene decomposition in vacuum, MATERIALS, TECHNOLOGIES, TOOLS – 2011, 16, No 4, p. 56–59.

7. Hastings J. T., Guo J., Keathley P. D., Kumaresh P. B., Wei Y., Law S., and Bachas L. G. Optimal self-referenced sensing using long- and short- range surface plasmons. Optics express. 2007. 15, No 26. P. 17661–17672.

8. Masaru Mitsushio, Akimichi Nagaura, Toshifumi Yoshidome, Morihide Higo. Molecular selectivity development of Teflon® AF1600-coated gold-deposited surface plasmon resonance-based glass rod sensor. Progress in Organic Coatings.2015. 79. P. 62–67.

9. Dorozinska H.V., Dorozinsky G.V., Maslov V.P., Grycenko K.P., Kolomzarov Yu.V., Lytvyn P.M., Doroshenko T.P. Features of application of the additional nano layer of polytetrafluoroethylene in sensors based on surface plasmon resonance phenomenon? Optoelectron. Semicond. Tech. 54, 88–95 (2019) [in Ukrainian]

10. S. K. Ozdemir, G. Turhan-Sayan, "Temperature Effects on Surface Plasmon Resonance: Design Considerations for an Optical Temperature Sensor", Journal of light wave technology, 2003, p. 805–815.

11. Anuj K. Sharma and Banshi D. Gupta, "Influence of temperature on the sensitivity and signal-to-noise ratio of a fiber-optic surface-plasmon resonance sensor," Appl. Opt. 45, 151–161 (2006).

12. G. Dorozinsky, V. Maslov, A. Samoylov, Yu. Ushenin, "Reducing measurement uncertainty of instruments based on the phenomenon of surface plasmon resonance", *American Journal of Optics and Photonics*, 2013, p. 17–22.

13. Yu.V. Ushenin, V.P. Maslov, T.A. Turu, N.V. Kachur, "Application of temperature sensors for improving the device based on the phenomenon of surface plasmon", *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*, Odessa, 2016, pp. 33–40.

14. Maslov V.P., Kachur N.V., Dorozinsky G.V. Investigation of Sensors Based on ITO Nanofilms in SPR-Devices. // American Journal of Optics and Photonics, Vol. 4, № 3 (2016). 20–24.

15. Azzam R. Ellipsometriya i polyarizovannyj svet. / R. Azzam, N. Bashara. M.: Mir, 1981. 583 p. [in Russian]

16. Chegel V. I., Shirshov Yu. M., Kostyukevich S. O., [et al.] Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As_2S_3 structure susing surface plasmon resonance spectroscopy. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2001. 4, No 4. P. 301–306.

УДК 621.317.77
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.5

МЕРЕЖЕВА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ ВІТРОВИХ ТУРБІН

Квасніков В. П. *– доктор технічних наук, професор,*
заслужений метролог України, завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій
Національного авіаційного університету
ORCID ID: 0000-0002-6525-9721

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

Сомчинська К. О. *– студентка кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки*
Національного авіаційного університету
ORCID ID: 0000-0003-2176-3381

Стаття присвячена дослідженню інформаційних технологій в галузі вимірювальної техніки та автоматики. Розглядається проблема контролю робочих характеристик вітрових турбін малої потужності з метою формування пропозицій щодо створення інформаційно-вимірювальної системи, в умовах обмеженості енергетичних ресурсів. У статті проведено дослідження мережевих вимірювальних засобів. Досліджено можливості створення вимірювальної мережі для вітрових електрогенераторів малої потужності. Досліджено міжнародний та вітчизняний досвід моделювання робочих характеристик вітрових генераторів. А саме, впливу перешкод для вимірювальних каналів та залежностей обертального моменту від ряду фізичних величин. Розглянуто застосовування первинних датчиків автоматизованих систем управління на вітрових електростанціях. Досліджено методи вимірювання робочих характеристики електрогенераторів, що застосовуються на вітрових електростанціях. Запропоновано модель автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи для контролю та управління роботою вітрових електрогенераторів малої потужності, мережевого типу. Запропоновано рекомендації, щодо побудови автоматизованої системи управління потужністю вітрової турбіни. На основі досліджених методів та моделей вимірювання параметрів вітрових електрогенераторів створено програмний код, який дозволяє візуалізувати результати моделювання, що дозволило отримати залежність обертального моменту валу електрогенератора від швидкості вітру, а також відобразити динаміку зміни вихідної напруги та визначити номінальний режим роботи, як окремого електрогенератора, так і мережі електрогенераторів. Сформовано рекомендації, щодо застосування сенсорної мережі для вітрової електростанції. Визначено перспективні напрямки розвитку вимірювальних мереж для вітрових електростанцій.

Ключові слова: *електрогенератор, вітрова електростанція, струм, вимірювання, обертальний момент, напруга.*

Kvasnikov V. P., Kvashuk D. M., Somchinska C. O. Network automated system for measuring the operating characteristics of wind turbine generators

The article is devoted to the study of information technology in the field of measuring technology and automation. The problem of control of working characteristics of wind turbines of small power for the purpose of formation of offers on creation of information and measuring system, in the conditions of limited energy resources is considered.

The research of network measuring means is carried out in the article. Possibilities of creation of a measuring network for wind power generators of low power are investigated. The international and domestic experience of modeling of working characteristics of wind generators is investigated. Namely, the influence of interference for measuring channels and the dependence of torque on a number of physical quantities. The application of primary sensors of automated control systems at wind power plants is considered. Methods for measuring the operating characteristics of electric generators used in wind power plants have been studied. The model of the automated information-measuring system for control and management of work of wind electric generators of small power, network type is offered. Recommendations for the construction of an automated wind turbine power management system are offered. Based on the studied methods and models of measuring the parameters of wind turbines, a program code was created that allows to visualize the simulation results, which allowed to obtain the dependence of the generator shaft torque on wind speed, as well as to display the dynamics of output voltage and determine the nominal mode of operation. and networks of electric generators. Recommendations for the use of a sensor network for a wind farm have been developed. Perspective directions of development of measuring networks for wind power plants are determined.

Key words: *electric generator, wind power plant, current, measurements, torque, voltage.*

Вступ. Сьогодні існує потреба у покращенні енергетичного потенціалу світу за рахунок альтернативних джерел енергії. Найбільш енерго-ефективною, серед вже існуючих енергетичних сфер, можна вважати вітрову енергетику. Тому покращення цієї сфери є однією із найбільш актуальних задач світової політики, економіки, науки і техніки багатьох країн світу. Разом з тим, на перешкоді стоїть багато факторів впливу на ці процеси. Зокрема, з технічної сторони, це визначення населених пунктів, найбільш оптимальних для розміщення вітрових турбін, оптимізація вимірювальних каналів для збільшення точності контролю за роботою вітрових станцій, покращення роботи автоматизованих систем регулювання навантаженням, тощо.

Крім того, переважна більшість громадян, які проживають за межею бідності в різних країнах світу, через недоступність електроенергії, потребують власних та автономних джерел живлення. Тому існує необхідність для таких категорій населення побудови автономних джерел електропостачання. Враховуючи що, недоступність централізованого електропостачання в деяких регіонах світу, при наявності власних джерел живлення у громадян, потужності яких не вистачає для власних потреб, такі джерела можна об'єднувати в мережу з розподіленим графіком користування. Це дозволить використовувати малозабезпеченому населенню малопотужні вітрові генератори, сонячні панелі, та інші джерела живлення, об'єднуючи їх в мережу. Тому, для того, щоб поєднати такі джерела живлення, потрібно як апаратне, так і програмне забезпечення для управління та контролю цією системою.

Контроль за роботою вітрових електростанцій здійснюється за допомогою уніфікованих рішень, які включають в себе набір програмних та технічних засобів, проте вони розраховані в основному на обслуговування великих електростанцій, а їх вартість для малозабезпечених громадян не є доступною.

Таким, чином для побудови мережевої системи вітрових електрогенераторів, потрібно контролювати значну кількість інформаційних параметрів, зокрема стан вітрових турбін та їх продуктивність. Найважливішим таким параметром виступає контроль за переміщенням валу електрогенератора, його обертального моменту та швидкості обертання, оскільки при перевищеннях допустимих режимів роботи, виникає підвищене зношування підшипників, перенавантаження на електроніку, збільшення руйнівних вібрацій, що значно зменшує строк експлуатації вітрової турбіни, а в деяких випадках і до аварійних ситуацій.

Усе це, та багато інших потреб вимагають створення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи вітрових електрогенераторів мережевого типу, що

дозволить малозабезпеченим громадянам, за відсутності постійного електропостачання поєднувати власні вітрові генератори та навіть інші джерела живлення малої потужності в загальну мережу, управління якою може здійснюватись в автоматизованому режимі.

Постановка проблеми. Незначна кількість напрацювань, щодо створення мережевих вимірювальних систем, а також систем управління вітровими електростанціями стримує розвиток бюджетних електричних мереж малої потужності для потреб власних домогосподарств.

Аналіз літератури. Останнім часом автоматизовані системи, які застосовуються для управління вітровими електростанціями почали інтеграцію в єдині вимірювальні мережі, що дозволяють ефективно отримувати велику кількість інформаційних параметрів. Така інтеграція дозволяє збільшити точність вимірювань та створити умови для подальшого прогнозування окремих видів похибок. Тому, в сучасних умовах, широкої популярності набув термін «бездротова сенсорна мережа» що розглядається, як само-організована, стійка до відмов окремих елементів мережа мініатюрних датчиків, обмін інформації між якими відбувається за рахунок бездротового зв'язку [1].

Вузли сенсорної мережі є автономними, що дозволяє забезпечити належну стійкість до зміни топології та зміни умов поширення результатів вимірювань. Так, первинний елемент виступає і як вимірювальний перетворювач, а також, як пристрій для обробки первинного сигналу, з власним інтерфейсом для передачі даних в мережу.

Переважна більшість сенсорних мереж є бездротовими, що дозволяє значно спростити їх експлуатацію, особливо в умовах, коли кожна вітрова турбіна потребує окремих рішень щодо автономності вимірювальних засобів, їх енергонезалежності та уніфікованості для використання.

Враховуючи особливості роботи вітряних електростанцій, сигнали від сенсорів, які знаходяться на вітрових турбінах, як правило передаються безпровідним каналом та мають перешкоди. Дослідження такого впливу знайшло своє відображення в роботі [2], де описано сумарний вплив таких перешкод у вигляді логарифмічної моделі:

$$PL(d) = PL(d_0) + \mathrm{n}\cdot 10\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma, \qquad (1)$$

де: PL – відстань затухання сигналу; d – відстань від передавача до приймача; d_0 – деяка відстань, на якій розраховується опорне значення затухання; n – ступінь втрат у каналі зв'язку; X_σ – Гаусівська випадкова величина з нульовим математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням σ, що описує неоднорідності середовища поширення сигналу.

Вимірювальні сенсори, які використовують для вітрових генераторів виконують наступні функції: контроль рівня вібрації для забезпечення захисту від аварійних ситуацій; моніторинг температури, тиску та механічних напруг. Останній параметр заслуговує на особливу увагу, оскільки він є ключовим в процесі визначення вихідної потужності електрогенератора та оцінювання навантаження. Так, загальноприйнята формула для визначення обертального моменту в залежності від швидкості вітру має на наступний вираз [3]:

$$M = \frac{C_m}{2}\rho V^2 r, \qquad (2)$$

де: C_m – коефіцієнт обертального моменту; ρ – щільність повітря; 2 кг/м^3; V – швидкість вітру, м/с; S – площа лопатки; r – радіус вітроколеса.

C_m – визначається при максимальному коефіцієнті використання енергії вітру та швидкохідності Z, [3]:

$$Z = \frac{V_{лін}}{V_{вім}} = \frac{\omega \cdot r}{V}, \tag{3}$$

де: $V_{лін}$ – лінійна швидкість обертання, м/с; $V_{вім}$ – швидкість вітру, м/с; ω – кутова швидкість обертання валу.

Вихідна напруга може бути розрахована за наступною формулою [3]:

$$U = \frac{P}{I \cdot \cos\ \varphi}, \tag{4}$$

де: I – струм; $\cos\ \varphi \cong 0{,}8 \div 0{,}85$ – коефіцієнт потужності, P – потужність вітрового потоку.

В роботі [4], проведено моделювання впливу обертального моменту на роботу електрогенератора вітрової турбіни, в основі якої закладено наступне рівняння:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} u_d - \frac{R}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d, \\ \frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q}, \\ T_e = 1{,}5 p \left[\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \right] \\ \frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{J} \left(T_e - F \omega_r - T_m \right), \\ \frac{d}{dt} \theta = \omega_r, \end{cases} , \tag{5}$$

де: L_q, L_d – індуктивності статора по осях q і d; R – опір обмотки статора; i_d, i_q – проекції струму статора на осі q та d; u_d, u_q – проекції напруги статора на осі q та d; ω_r – кутова швидкість обертання ротора; λ – магнітний потік, зчеплений зі обмоткою статора; p – кількість пар полюсів; T_e – електромагнітний момент; J – сумарний момент інерції ротора та навантаження; F – коефіцієнт тертя; θ – кут положення ротора; T_m – момент опору.

Оскільки генератор видає змінний струм по фазі, частоті та амплітуді, який складно використати для потреб споживача, він проходить через трьохфазних випрямний міст. Вимірювання вихідної напруги здійснюється за допомогою вольтметра, частота обертання ротора вимірюється з використанням акселерометрів, які призначені для вимірювання прискорення та частоти обертання. З метою моніторингу швидкості обертання валу електрогенератора використовують акселерометри. У вітрогенераторах вони використовуються для виявлення вібрації в підшипниках, а також в інших компонентах, що обертаються. Дані про вібрації необхідні для поточного моніторингу, прогнозування та запобігання можливим аваріям. Для визначення змін ефективності роботи генератора використовують датчики швидкості вітру. Важливим параметром є і температура, оскільки вал та інші механізми змінюють свою пружність в залежності від зміни температури. Для узгодження таких змін використовують інтелектуальну корекцію похибок.

Розглянуті параметри можуть бути отримані з використанням сенсорних мереж. Наприклад в роботі [5] запропоновано метод кластеризації бездротової сенсорної мережі з додаванням алгоритму рою бджіл, який дозволяє створювати мережі, незалежні від точки управління такою мережею. Загалом, існує більше 200 різних алгоритмів самоорганізації. сенсорних мереж, класифікація яких представлена

в роботі [6]. Тому, для побудови сенсорної мережі, яка може бути застосована для вітрових електрогенераторів малої потужності слід провести моделювання такої системи для визначення її номінальних режимів, аварійних станів та енергоефективності загалом.

Мета статті. Дослідити мережеві вимірювальні засоби та параметри їх роботи на вітрових електростанціях. Запропонувати концепцію вимірювання робочих характеристик вітрових електрогенераторів з використанням сенсорних мереж. Провести моделювання робочих характеристик електрогенератора вітрової турбіни, як окремо, так і у складі мережі.

Виклад основного матеріалу. Для побудови сенсорної мережі, до складу якої може входити невелика кількість вітрових турбін малої потужності, слід визначити параметри, які мають бути враховані. До таких можна віднести: швидкість вітру; температуру поверхні статора; обертальний момент генератора; швидкість обертання валу; вібрації. В залежності від швидкості вітру, вібрацій, обертального моменту а також температури статора має бути побудована АСУ для управління положенням лопаток вітрової турбіни, з можливістю її аварійної зупинки (рис. 1). Моделювання даної схеми з використанням моделей (1-5) при поступальному збільшенні швидкості вітру та інших заданих вхідних параметрах, було здійснено шляхом написання програмного коду і дозволило отримати наступний результат (рис. 2-4)

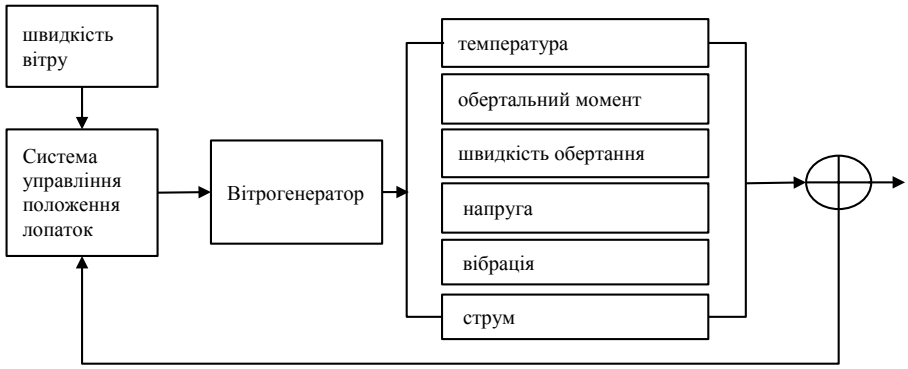


Рис. 1. Структурна схема вимірювальних засобів однієї вітрової турбіни

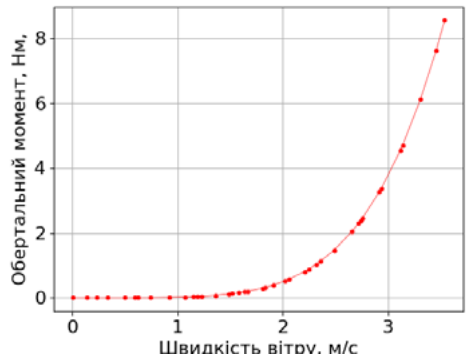


Рис. 2. Залежність обертального моменту від швидкості вітру

Побудовано з використанням Matplotlib

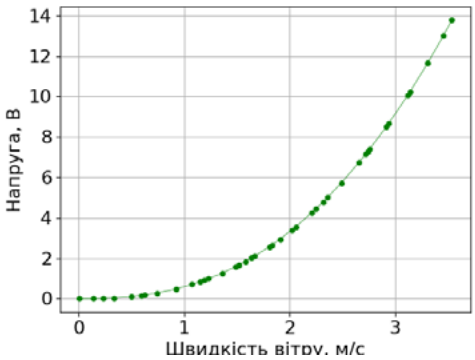


Рис. 3. Залежність напруги електрогенератора та швидкості вітру

Побудовано з використанням Matplotlib

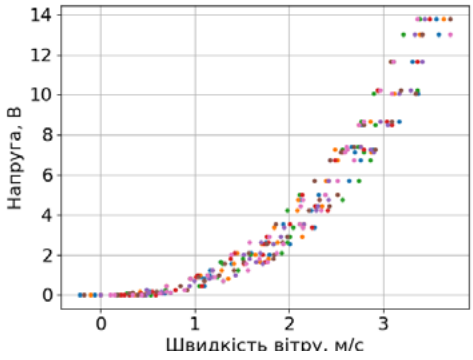


Рис. 4. Вихідні параметри напруги мережі із 10-ти вітрових електрогенераторів

Побудовано з використанням Matplotlib

Динаміка зміни вихідної напруги, отримана за формулою (3), представлена на рис. 3.

Моделювання дозволило встановити номінальну напругу при швидкості вітру 3,5 м/с., яка склала 12 В.

Моделювання отриманих параметрів для мережі вітрогенераторів з урахуванням відхилень швидкості вітру ±0,5 м/с, дозволило встановити, що при застосуванні 10 вітрових турбін, напруга коливатиметься в межах 12 вольт при наявності вітру на менше 3,5 м/с.

Сенсорну мережу можна побудувати, в залежності від розташування вітрових турбін за топологією зірки, дерева, або mesh мережі (рис. 5), в Управління мережею може здійснюватись в автоматизованому режимі використовуючи серверне програмне забезпечення та стандартні web-протоколи для передачі даних.

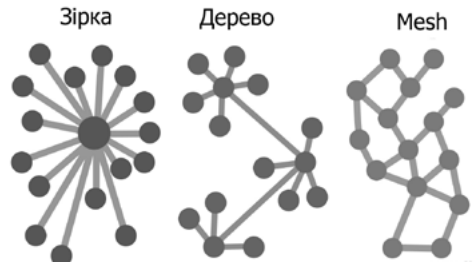


Рис. 5. Топологія побудови сенсорної мережі

Висновок. Сенсорні вимірювальні мережі можуть бути реалізовані для контролю та управління вітровими станціями малої потужності. Моделювання робочих характеристик вітрових турбін, як окремо так і у складі мережі, дозволило встановити вихідну напругу при середньостатистичній швидкості вітру 3,5±0,5 м/с. Із відповідними вхідними параметрами, в мережі із 10 вітрових турбін, напруга коливатиметься в межах 12 вольт при наявності вітру на менше 3,5 м/с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Krishnamurthy V. POMDP multi-armed bandit formulation for energy minimization in sensor networks. Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP). Philadelphia, PA, USA: IEEE, 2005. P. 793–796. doi: 10.1109/ICASSP.2005.1416423.

2. Дядюнов Александр Николаевич, Смолев Дмитрий Владимирович Моделирование канала связи беспроводных локальных сетей. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2013. № 3 (189). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-kanala-svyazi-besprovodnyh-lokalnyh-setey (дата обращения: 26.05.2022).

3. Кирпичникова, И.М. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках / И.М. Кирпичникова, А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин. *Альтернативная энергетика и экология*. 2010. № 1. С. 93–97.

4. Пронин, Н. В., & Мартьянов, А. С. (2012). Модель ветрогенератора ВЭУ-3 в пакете Matlab. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика,* (37 (296)), 143–145.

5. Татарникова Т.М., Бимбетов Ф., & Горина Е.В. (2022). Алгоритм энергоэффективного взаимодействия узлов беспроводной сенсорной сети. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики,* 22 (2), 294–301.

6. Dressler F. A Study of Self-Organization Mechanisms in Ad Hoc and Sensor Networks. *Computer Communications.* 2008. V. 31, N 13. P. 3018–3029.

REFERENCES:

1. Krishnamurthy V. (2005) POMDP multi-armed bandit formulation for energy minimization in sensor networks, *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP). Philadelphia*, PA, USA: IEEE, 2005. P. 793–796. doi: 10.1109/ICASSP.2005.1416423.

2. Dyadyunov Aleksandr Nikolayevich, Smolev Dmitriy Vladimirovich (2013) Modelirovaniye kanala svyazi besprovodnykh lokal'nykh setey [Modeling the communication channel of wireless local networks], *Nauchnyy vestnik*, Vol. 3 (189), P. 20–28.

3. Kirpichnikova, I.M. (2010) Preobrazovaniye energii v vetroenergeticheskikh ustanovkakh [Energy transformation in wind energy installations], Al'ternativnaya energetika i ekologiya, Vol. 1., P. 93–97.

4. Pronin, N. V., Mart'yanov, A. S. (2012). Model' vetrogeneratora VEU-3 v pakete Matlab [Model of the VEU-3 wind generator in the Matlab package], *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*, Vol. 37 (296), P. 143–145.

5. Tatarnikova T.M., Bimbetov F., Gorina Ye.V. (2022). Algoritm energoeffektivnogo vzaimodeystviya uzlov besprovodnoy sensornoy seti [The algorithm of energy-efficient interaction of the units of the wireless sensory network], *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki*, Vol. 22 (2), P. 294–301.

6. Dressler F. A Study of Self-Organization Mechanisms in Ad Hoc and Sensor Networks (2008) *Computer Communications*. 2008, Vol. 31(13), P. 3018–3029.

УДК 004.93`1
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.6

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ В ЗАДАЧАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСІБ У ВІДЕОПОТОЦІ

Мозговенко А. А. *– асистент кафедри комп'ютерних наук*
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
ORCID ID: 0000-0002-7445-8925

Зінов'єва О. Г. *– старший викладач кафедри комп'ютерних наук*
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
ORCID ID: 0000-0003-3760-8952

Завдання виявлення обличчя на зображенні часто є першим кроком у процесі розв'язання задачі вищого рівня – розпізнавання особи, деталей особи або її міміки. Крім того, інформація про присутність та кількість осіб на зображенні може бути корисною в системах автоматичного обліку кількості відвідувачів; системах пропускного контролю в установах, аеропортах та метро; автоматичних системах запобігання нещасним випадкам; інтелектуальних інтерфейсах «людина-комп'ютер»; у фототехніці для автоматичного фокусування на обличчі людини, а також для стабілізації зображення особи з метою полегшення розпізнавання емоцій; для розширення зони стереобачення під час створення систем 3D відображення. Те, що для нас є фотографією, для системи розпізнавання образів – лише набір пікселів з різними параметрами кольору. Щоб навчити систему розпізнавати на зображенні окремі об'єкти, необхідно надати їй датасета – набір з тисяч зображень, в яких зазначено, де саме знаходиться потрібний об'єкт. Наприклад, якщо ми хочемо, щоб система навчилася розпізнавати на знімках людей, потрібно показати їй безліч фотографій людей різного віку, в різних позах і одязі, в різних умовах. Після подібного тренування система зможе безпомилково розпізнати людину на фотографіях. Однак напрошується інше запитання: якщо для системи фотографія – це просто сукупність пікселів, то як же нейросеть розуміє, що саме зображено на фото?

Значне зростання обчислювальної потужності комп'ютерів та поява нових математичних моделей алгоритмів останніми роками дозволило домогтися начительного прогресу у сфері комп'ютерного зору. Нові технології, засновані на машинному навчанні, дозволяють створювати надійні рішення для складних адач розпізнавальних образів.

Дана стаття є оглядом основних підходів до вирішення завдань комп'ютерного зору, з акцентом на глибинне машинне навчання та штучні нейронні мережі. У статті розглянуто алгоритми розпізнавання об'єктів на зображенні, проведено аналіз методів, що застосовуються при обробці зображень, а також описано використання засобів машинного навчання в рамках роботи із зображеннями.

Ключові слова: *ком'ютерний зір, нейронні мережі, розпізнавання об'єктів, методи.*

Mozghovenko A. A., Zinovieva O. G. Analysis of computer vision methods in the problems of personal identification in video flow

The task of detecting a face in an image is often the first step in the process of solving a higher-level problem – facial recognition, facial details or facial expressions. In addition, information about the presence and number of people in the image can be useful in systems of automatic accounting of the number of visitors; access control systems in institutions, airports and the metro; automatic accident prevention systems; intelligent human-computer interfaces; in photography for automatic focusing on a person's face, as well as to stabilize the image of the face in order to facilitate the recognition of emotions; to expand the stereo vision area when creating 3D display systems. What is photography to us, to the image recognition system, is just a set of pixels with different color settings. To teach the system to recognize individual objects in an image, you need to provide it with a dataset – a set of thousands of images that indicate exactly where the desired object is located. For example, if we want the system to learn to recognize people in pictures, we

need to show it a lot of photos of people of different ages, in different poses and clothes, in different conditions. After such training, the system will be able to unmistakably recognize the person in the photos. However, another question arises: if for the system the photo is just a set of pixels, then how does the neural network understand what is depicted in the photo?

Significant growth in the computing power of computers and the emergence of new mathematical models of algorithms in recent years has made significant progress in the field of computer vision. New technologies based on machine learning allow us to create reliable solutions for complex adaptive image recognition.

This article is an overview of the main approaches to solving computer vision problems, with an emphasis on deep machine learning and artificial neural networks. The article considers algorithms for recognizing objects in the image, analyzes the methods used in image processing, and describes the use of machine learning tools in working with images.

Key words: *computer vision, neural networks, object recognition, methods.*

Постановка проблеми. Для розпізнавання об'єктів на зображенні використовуються різні методи, але одним з найбільш перспективних визнаний метод гістограм орієнтованих градієнтів (HOG). Зображення знебарвлюється, а потім в блоках 16х16 пікселів система знаходить напрямок зміни кольору (вектор градієнта), будує по всьому зображенню карту цих векторів, і тим самим «знімок» ознак об'єкта, які не змінюються в залежності від пози/положення і освітлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні на ринку програмних продуктів існує велика кількість програмних забезпечень по розпізнаванню облич. Серед яких можна виділити наступні:

1. Search Face.
2. Google picture.
3. Пошук по фото.

Програмне забезпечення Search Face виконує розпізнавання осіб по фото в Інтернеті з бази даних. Розумний алгоритм, спираючись на дані вбудованої нейромережі, швидко аналізує образ людини і знаходить образи схожих людей. Сервіс працює онлайн, тобто, нічого завантажувати або встановлювати на пристрій не потрібно. Все, що потрібно – браузер і Інтернет підключення.

До переваг програмного забезпечення відносять:

– висока швидкість аналізу даних;
– висока точність (вихідне фото жодного разу не потрапляло в Інтернет);
– простота інтерфейсу користувача;
– можливість користуватись додатком ха мобільного та комп'ютера;
– наявність додадту на Play Markt [8];

До недоліків відносять: необхідність вводу властного номеру телефону;

Сервіс Google.picture. Програмне забезпечення розпізнавання осіб коштує чимало, і воно навряд чи підійде звичайному користувачеві Інтернету. Таке обладнання набувають великі компанії, супермаркети, державні служби.

Ось кілька компаній, які реалізують програми для розпізнавання осіб в відеоспостереження:

– Findface;
– Hikvision;
– Verilook Standard SDK.

Середня ціна за стартовий пакет додатку – від 450 доларів. Професійні продукти навряд чи зацікавлять стандартного користувача.

Один з найбільш популярних веб-сервісів, який відмінно працює безкоштовно – це Google.photo. Програма виконує не тільки розпізнавання осіб по фото, а й авторизує користувача по образу.

До переваг google.picture можна віднести:
– аналізує не тільки базу даних, а й фото с папки;
– більше шансів на авторизацію особи;
До недаліків відносять наступне:
– довге зчитування бази даних;
– у зв'язку з великою кількість даних має повільну швидкість роботи.

Мобільний додаток «Пошук по фото» Вона виконує пошук і розпізнавання особи з фото исходника, грунтуючись на даних пошукових систем Google. Цей додаток сумісний з операційною системою IOS 9.1 і вище.

До переваг додатку можна віднести:
– програма розпізнає особу вельми непогано і швидко;
До недоліків додатку:
– часто вилітає;
– довго доводиться розбиратися з інтерфейсом, навіть за допомогою інструкції;
– Порівняльний аналіз аналогів розглянуто і зведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння аналогів

Системі розпізнавання облич	Швидкість роботи	Точність	Простота інтерфейсу
Search Face	+	+	+
Яндекс.Зображення	-	+	+
Пошук по фото	+	-	-

Постановка завдання. Мета даного дослідження – розглянути різні методи, що використовуються для цифрової обробки зображень у сучасних системах комп'ютерного зору, виділити галузі застосування таких систем, а також показати нові шляхи та тенденції їх розвитку.

Виклад матеріалу дослідження. Визначимо перелік завдань, що вирішуються системами розпізнавання та ідентифікації осіб по відеофіксації в реальному часі:

1. Верифікація. Система розпізнавання та ідентифікації осіб по відеофіксації в реальному часі може підтверджувати особистість людини шляхом порівняння висунутого зразка з еталонним зразком, записаним в систему раніше. Фактично, виконується порівняння за схемою «один до одного».

2. Ідентифікація на закритому безлічі. Система розпізнавання та ідентифікації осіб по відеофіксації в реальному часі зіставляє отримане з відеопотоку зображення з безліччю записаних раніше шаблонів різних людей з метою встановлення особи, якій належить цей зразок. Дане завдання може бути вирішене з урахуванням того, що персона, якій належить зразок, присутній в базі. У цьому завданні виконується порівняння зразків за схемою «один до багатьох».

По суті, системи розпізнавання є комп'ютерними програмами, які аналізують зображення облич людей з метою їх ідентифікації. Програма бере зображення особи і вимірює такі його характеристики, як відстань між очима, довжина носа, кут щелепи, на основі чого створюється унікальний файл, який називається «шаблон". Використовуючи шаблони, програма порівнює дане зображення з іншими зображеннями в базі, а потім оцінює, наскільки зображення є схожими один на одного. Звичайними джерелами зображень для використання при ідентифікації по обличчю є сигнали від відеокамер або раніше отримані фотографії, на зразок тих, що зберігаються в базі даних водійських посвідчень.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони навчаються. Можливість навчання – одне з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Розвиток штучних нейронних мереж надихається біологією.

Математична модель, а також її програмне або апаратне втілення, побудована за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж – мереж нервових клітин живого організму. Це поняття виникло при вивченні процесів, що протікають в мозку, і при спробі змоделювати ці процеси.

Після того, як зображення у вигляді цифрових даних з камер передається на комп'ютер – воно обробляється за допомогою спеціального алгоритму, який визначає розташування області особи за її основними рисами (очей, рота, брів, носа і т. д.). Таких методів виявлення осіб існує багато і більшість з них представляють собою комбінацію інших методів. Але всі їхні можна розбити на дві категорії: методи на основі знань, які ґрунтуються на досвіді людини і методи виявлення особи за зовнішніми ознаками (методи при яких необхідно провести етап навчання системи, напрямом обробки тестових зображень

Також варто відразу зазначити, що продуктивність обраних методів істотно залежить від різних чинників, наприклад: освітлення, положення особи, заднього фону і т.д. Тому, для забезпечення коректної роботи системи, необхідно створити сприятливі умови для її використання:

– переднє, або близьке до нього положення особи;
– особа, яка не перекривається іншими об'єктами;
– нейтральне вираз обличчя;

Методи, засновані на знаннях, використовують інформацію про особу, його рисах, формі, текстурі або кольорі шкіри. У цих методах виділяється якийсь набір правил (властивостей і особливостей особи), яким повинен відповідати фрагмент кадру, для того щоб вважатися людським обличчям. Визначити такий набір правил досить легко. Всі правила це формалізовані знання, якими керується людина, коли визначає, особа перед ним або не обличчя. Наприклад, основні правила: області очей, носа і рота відрізняються по яскравості щодо іншої частини особи; очі на обличчі завжди розташовуються симетрично відносно один одного. Спираючись на ці та інші схожі властивості, будуються алгоритми, які в ході виконання перевіряють наявність правил на зображенні. До цієї ж групи методів відносять більш загальний метод – метод порівняння з шаблоном. У цьому методі, за допомогою опису властивостей окремих областей особи і їх заданому взаємному розташуванню визначається стандарт особи (шаблон), з яким в подальшому порівнюють вихідне зображення.

Методи на основі знань отримали досить широке поширення і мають непогані показники, однак вони показують хороші результати тільки на зображеннях з хорошим розширенням, без шумів і з нескладним фоном. На кадрах з відеопотоку або камер встановлених в громадських місцях, де можливі різні ракурси і повороти осіб, а також мінливий освітлення і велика кількість заважають об'єктів на задньому плані, існує велика ймовірність виникнення помилок.

Методи виявлення осіб за зовнішніми ознаками підходять до проблеми з іншого боку, вони не намагаються в явному вигляді формалізувати відбуваються в людському мозку процеси, а навпаки намагаються виявити закономірності і властивості зображення особи неявно, застосовуючи методи математичної статистики і машинного навчання.

Методи цієї групи позбавлені вище зазначених недоліків і тому стали частіше застосуються в системах відеоспостереження. Виявлення осіб в таких методах здійснюється перебором всіх прямокутних фрагментів зображення з метою визначення, до якого класу належить зображення: до класу містять особа або до класу зображень без обличчя. За рахунок такого великого об'єму роботи методи мають надмірністю і великою обчислювальною складністю.

Щоб зменшити кількість обчислень і прискорити процес відшукання осіб, автори застосовують різні додаткові методи для скорочення кількості розглянутих фрагментів. Кілька найбільш актуальних і заслуговують на увагу методів виявлення осіб розглянуті нижче:

Метод Віоли-Джос (Viola-Jones object detection). Метод був запропонований Паулом Віолою і Майклом Джонсом в 2001 році і став першим методом, демонструє високі результати при обробці зображень в реальному часу. У методу є безліч реалізацій, в тому числі в складі бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV (функція cvHaarDetectObjects ()).

Переваги даного методу:

висока швидкість роботи (за рахунок використання каскадного класифікатора);

– високий точність виявлення повернених осіб на кут до 30 градусів (якщо кут більше, ефективність даного методу сильно знижується);

– недоліки:

– тривалий час навчання. алгоритму необхідно проаналізувати велика кількість тестових зображень;

– при виявленні, на становище особи можуть бути встановлені обмеження.

Метод гнучкого порівняння на графах (Elastic graph matching). Метод відноситься до 2D моделювання. Його суть полягає в зіставленні графів, які описують особи (особа представляється у вигляді сітки з індивідуальним розташуванням вершин і ребер).

Процедура розпізнавання відбувається наступним чином – еталонний граф, що характеризує основний параметр розпізнання, залишається без зміни, в той час як інші деформуються під впливом структура особи з прив'язкою до основним антропометричним точкам: відстань між очима, вухами, лінія носа, ширина губ і т.п. Чим більше цих точок використовується, тим точніше буде система розпізнавання, але і істотно збільшиться час на обробку одного об'єкта.

Недоліки методу:

– складність алгоритму розпізнавання призводить до необхідності використання значних обчислювальних потужностей;

– складна процедура введення нових шаблонів в базу даних;

– швидкодія аналітичної системи обернено пропорційно розмірами баз даних.

Приховані Марковські моделі (СММ). Метод заснований на статистичному порівнянні об'єкта з базою шаблонів. Приховані Марковські моделі використовують статистичні властивості сигналів і враховують їх просторові характеристики. Елементи моделі: початкова ймовірність станів, безліч спостережуваних станів, безліч прихованих станів, матриця перехідних ймовірностей. Кожному елементу відповідає своя Марковська модель. Під час розпізнавання людини, перевіряються всі згенеровані Марковські моделі і шукається найбільша з спостережуваних ймовірність того, що послідовність спостережень для об'єкта згенерована відповідної моделлю.

Недоліки:

– низька швидкість спрацьовування;

– низька розрізняє здатність і не оптимальний алгоритм навчання;

– система може оптимізувати тільки час обробки даних і відгуку на власну модель, але не може мінімізувати час перебору інших моделей.

Метод головних компонент (PCA). Головною метою PCA є зменшення простору ознак без значущої втрати інформації і так, щоб воно як якнайкраще описувало «типові» образи, що належать безлічі осіб. В задачі розпізнавання осіб його використовують головним чином для того, щоб уявити обличчя як вектор малої розмірності, який потім порівнюється з еталонними векторами з бази.

Набір власних векторів, який був отриманий один раз на навчальній вибірці, використовується для кодування інших зображень осіб, які можна уявити зваженої комбінацією власних векторів. При використанні обмеженої кількості власних векторів можна отримати стислу апроксимацію вхідному зображенню особи, яку згодом можна зберігати в БД, як вектор коефіцієнтів, який служить одночасно ключем пошуку в БД. PCA добре зарекомендував себе в додатках. Однак, тоді, коли на зображенні особи є значні зміни у виразі обличчя або освещѐнності, ефективність методу значно падає. Це відбувається через того, що метод головних компонент вибирає підпростір з метою максимальної апроксимації вхідного набору даних, а не з метою виконання дискримінації між класами осіб.

Метод опорних векторів (Support Vector Machines, SVM) – це набір подібних алгоритмів навчання на основі вчителів, які використовуються для завдань класифікації та регресійного аналізу [4]. Суть методу опорних векторів полягає у знаходженні гіперплощини в просторі ознак, що відокремлює клас зображень осіб від зображень «не-персон». максимум.

Переваги цього методу:

– висока стійкість до перепідготовки;

– висока швидкість в порівнянні з нейронними мережами;

– точність роботи методу поступається багатьом методам.

Нейромережеві методи. Досить поширені методи, які включають в себе близько десятка різних алгоритмів. основною особливістю таких мереж є їх здатність до навчання на наборі готових прикладів заздалегідь занесених в базу даних. Під час навчання нейронних мереж, мережа автоматично витягує ключові ознаки і будує взаємозв'язок між ними. Після цього, для того щоб розпізнати раннє невідомий об'єкт, навчена нейронна мережа застосовує отриманий досвід. Нейромережеві методи показують одні з найкращих результатів в області розпізнавання, але вважаються найбільш складними для реалізації.

Переваги даного методу:

– висока точність виявлення при правильному налаштуванні параметрів мережі.

– висока стійкість до перенавчання;

Недоліки:

Низька швидкість спрацьовування;

– складна процедура внесення змін (будь-яка зміна вимагає перенавчання мережі);

– важко формалізувати архітектуру мережі (кількість нейронів, шарів,

– характер зв'язків)

– висока обчислювальна складність.

Зведемо розглянуті методи до порівняльної таблиці 2. Методи на основі знань до зрівняння долучатись не будуть, оскільки ці методи залежать від багатьох факторів, які впливають на результат.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця розглянутих методів

Назва методу	Швидкість роботи	Точність	Складність відтворення
Метод Віоли-Джонса	**+**	**+**	**+**
Метод гнучкого порівняння на графах	–	+	–
Приховані Марковські моделі	–	–	–
Метод головних компонент	+	+	–
Метод опорних векторів	+	+	–
Нейромережеві методи	+	+	–

Висновки. У цій статті було проведено аналіз алгоритмів, які застосовуються при обробці зображень. Алгоритм Віоли-Джонса є найбільш підходящим, оскільки є можливість навчання. Використовуючи цей алгоритм у системах розпізнавання об'єктів, можна змінювати характеристики об'єкта, що шукається, проводячи навчання на конкретних прикладах

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Путятін Є. П., Гороховатській В.О., Матат О.О. Методи та алгоритми комп'ютерного зору: Навч. посібник. Х: СМІТ, 2006. 236 с.

2. Довбиш, А.С. Основи теорії розпізнавання образів: навч. посіб.: у 2-х ч. Суми : Сумський державний університет, 2015. Ч.1. 109 с.

3. Тимощук П. В. Штучні нейронні мережі. Навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2011. 444 с.

4. Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В. Методи обробки зображень та компютерний зір: Навчальний посібник. Д. : ЛІРА, 2016. 148 с.

REFERENCES:

1. Putiatin, Ye. P., Horokhovatskii, V.O. & Matat, O.O. (2006). *Metody ta alhorytmy kompiuternoho zoru [Methods and algorithms of computer vision],* Kharkiv : SMIT [in Ukrainian]

2. Dovbysh, A.S. (2015). *Osnovy teorii rozpiznavannia obraziv [Fundamentals of pattern recognition theory*]. (Vols. 1-2). Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet [in Ukrainian]

3. Tymoshchuk, P. V. (2011). *Shtuchni neironni merezhi [Artificial neural networks]*. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky [in Ukrainian]

4. Vovk, S.M., Hnatushenko, V.V. & Bondarenko M.V. (2016). *Metody obrobky zobrazhen ta kompiuternyi zir [Image processing methods and computer vision]*. Dnipro : LIRA [in Ukrainian].

UDC 004.051
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7

DESIGN OF WEB-APPLICATIONS IN THE CONTEXT OF OPTIMIZING THEIR PERFORMANCE

Slabinoha M. O. *– Ph.D. in Engineering,*
Associate Professor at the Department of Computer Systems and Networks
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
ORCID ID: 0000-0002-7296-0356
Scopus Author ID: 57283728000

Chaban S. V. *– Student at the Department of Computer Systems and Networks*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
ORCID ID: 0000-0001-5830-7046

The purpose of this paper is to highlight recommendations for designing web-based software to maximize the speed of rendering the user interface and confirm these recommendations with the developed web-application.

The subject of this paper is very important, because web applications consume more and more resources both on the client side and server side. The Web became the large dumping ground for digital waste, and instead of saving the planet from increasing pollution through digitalization processes, it constantly demands production of more powerful digital devices for clients and highload server systems for data servers, which leads to more physical waste as a result. The aim to reduce the amount of computing where this is possible should be the primary goal for each software developer, including developers of web applications. That's why the concept of sustainable web development is so important right now to the whole of humanity.

This paper provides analysis of the subject area, comparative characteristics of the comparative characteristics of approaches to application design and formation of performance criteria, definition of recommended approaches, introduces the tools for the example web application implementation, and designing process for a web application based on previously defined approaches and testing its performance.

The methods of designing web-oriented software are improved with separation of logic and mapping components, taking into account the recommendations for improving the performance of the web application. This allows to achieve high performance of the web application.

The practical importance of the paper is the development of recommendations for approaches to the design of web-based software, which can then be used in the design of other web applications.

Key words: *sustainable web development, web applications, performance optimization, software development, client-server systems.*

Слабінога М. О., Чабан С. В. Розробка веб-додатків в контексті оптимізації їх швидкодії

Метою даної статті є виділення рекомендацій щодо проектування веб-додатків для максимальної швидкості відображення інтерфейсу користувача та розробка веб-додатку, що буде базуватися на основі даних рекомендацій з метою підтвердження їх ефективності.

Проблематика статті є актуальною, оскільки веб-додатки споживають все більше ресурсів як на стороні клієнта, так і на стороні сервера. Мережа стала великим звалищем цифрових відходів, і замість того, щоб врятувати планету від зростаючого забруднення через процеси цифровізації, вона постійно вимагає виробництва потужніших цифрових пристроїв для клієнтів і високонавантажених серверних систем для серверів даних, що в результаті призводить до збільшення забруднення через утилізацію застарілих пристроїв. Основною метою кожного розробника програмного забезпечення, включаючи розробників веб-додатків, має бути скорочення обсягу обчислень у додатках, де це можливо. Ось чому концепція веб-розробки в контексті сталого розвитку зараз настільки важлива для всього людства.

У цій роботі наведено аналіз предметної області, проведено порівняльний аналіз підходів до проектування веб-орієнтованих додатків та сформовано критерії їх ефективності. Також визначено рекомендовані підходи до розробки веб-додатків, вибрано інструменти для розробки тестового веб-додатку, а також висвітлено процес проектування веб-додатка на основі попередньо визначених підходів та тестування його ефективності.

Вдосконалені методи проектування веб-орієнтованого програмного забезпечення за рахунок розділення компонентів логіки та відображення, з урахуванням рекомендацій щодо підвищення продуктивності веб-додатку, що дозволяє досягти вищої швидкодії.

Практичне значення статті полягає у розробці рекомендацій щодо підходів до проектування веб-додатків, які потім можуть бути використані у веб-розробці.

Ключові слова: *веб-розробка в контексті сталого розвитку, веб-додаток, оптимізація продуктивності, розробка програмного забезпечення, клієнт-серверні системи.*

Introduction. Web development is a complex, long and multi-stage process. There are too many different approaches to web application development today. Many beginners, as well as experienced engineers, delve into modern and popular technologies, but forget about the fundamentals of how the web works. As a result, developers choose the wrong foundation for their web applications, which can greatly affect the quality of the final product.

One of the main decisions that web developers have to make is where to implement logic and mapping in their program. This can be difficult because there are several many ways to create a website. To better understand the architectures to choose from when making a decision, you need to have a clear understanding of each approach and the agreed terminology that can be used. The differences between these approaches help illustrate the trade-offs in rendering web applications through the prism of performance. That is why the task of creating methods and approaches to improve the performance of web applications at the design stage is relevant.

Therefore, the aim of the research was to develop recommendations for the design of web-based software in order to maximize the speed of rendering the user interface, which will be confirmed by the development of the application according to these recommendations.

Main part of the research. One of the most popular tools for estimating web page load speeds is Google PageSpeed Insights. PageSpeed Insights (PSI) reports on page performance on both mobile and desktop devices, as well as suggestions on how to improve the page. PSI provides both laboratory and field data about the page. Laboratory data is useful for troubleshooting performance because it is collected in a controlled environment. However, PSI does not take into account real critical places. Field data is useful for obtaining real-world user experience, but it has a more limited set of metrics. PSI also provides scores on other categories, such as SEO optimization, accessibility, and validation of PWA (Progressive Web Application) criteria.

It should be noted that PSI provides very general information about the speed of loading web pages and developers, in general, should look at these results as one of the metrics for building a website ranking in search engines, because this tool was designed for this purpose . When debugging web applications, you need to make more use of the developer's built-in browser tools (Performance and Network tabs) and other additional tools that will help you find the source of the problem.

However, it is not necessary to completely abandon PSI in terms of debugging a web application, as it provides useful information about key web metrics that can be used as a good place to start finding the problems themselves.

Key web metrics are a common set of performance signals that are important to any web experience. The main indicators of Web Vitals are FID, LCP and CLS, and they can be summarized at the page or source level.

Largest Contentful Paint (LCP). The download speed of the main content (titles, text, images, videos, etc.) measures how productively the download is performed, namely the time of the longest render of a text block or image visible in the preview area, counted from the start of page loading. To ensure user convenience, the LCP should be within 2.5 seconds of starting to load the page.

First Input Delay (FID). The time it takes to first interact with the content measures the interactivity of the webpage, namely the time from when the user first interacts with the page (ie, when he clicks a link, clicks a button, or uses a JavaScript-based control) until the browser actually will be able to begin to respond to signals from event handlers in response to this interaction. To ensure user convenience, the FID of pages should not exceed 100 milliseconds.

Cumulative Layout Shift (CLS). Aggregate web page layout offset measures visual stability. Unexpected movement of page content usually occurs due to asynchronous loading of resources or dynamic addition of DOM elements to the page on top of existing content. This may be due to an image or video of unknown size, a font that appears larger or smaller than its backup, third-party ads, or resizable widgets. To ensure the convenience of users, the CLS should not exceed 0.1.

Let's consider four main types of web-application user interface generation. Those are server-side rendering, static rendering, client-side rendering and hydration rendering.

Server-side rendering (SSR) generates a full-fledged server-side web page when the user navigates between web pages. This avoids additional requests for client-side data, as they are processed before the browser receives a response.

Server mapping typically creates a quick first Paint and a first Contentful Paint. Executing web page logic and server-side mapping avoids sending large amounts of JavaScript to the client, which helps to achieve a fast time to interactivity of the web page (Time to Interactive).

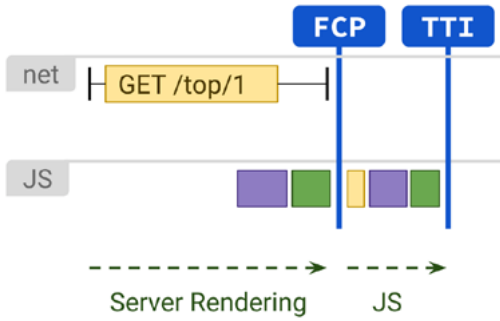


Figure 1. Server-side rendering scheme

Static rendering is the simplest of all web application render methods. A static web page is rendered during application build and provides fast first paint, fast first contentful paint, and time to interactivity, provided the number of JSs on the client side is limited. Unlike server-side visualization, static mapping can achieve consistently fast time to the first byte (TTFB) because HTML for a page does not need to be generated on the fly (runtime). Typically, a static rendering means creating a separate HTML file for each URL in advance. Because HTML responses are pre-generated, static visualizations can be deployed on multiple CDNs to take advantage of caching.

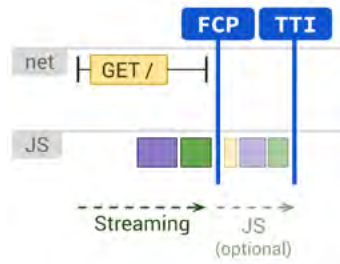


Figure 2. Static rendering scheme

Client-side rendering (CSR) means the reproduction of pages directly in the browser using JavaScript. All logic, data sampling, patterning, and routing are handled on the client, not the server.

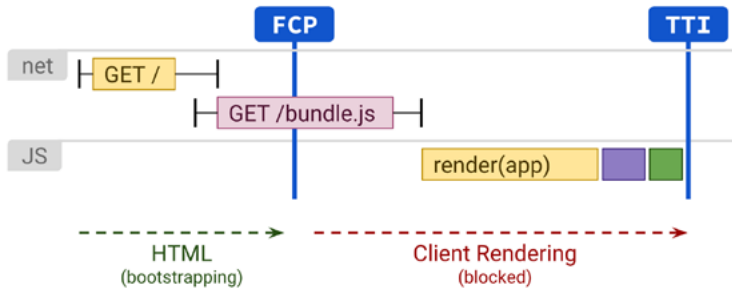


Figure 3. Client-side rendering scheme

Hydration, often referred to as universal or simply SSR, seeks to bridge the gap between client-side mapping and server-side mapping by doing both. Navigation requests, such as fully loading or reloading a page, are processed by a server that plays the web application in HTML, then JavaScript and the data used for rendering are embedded in the resulting document.

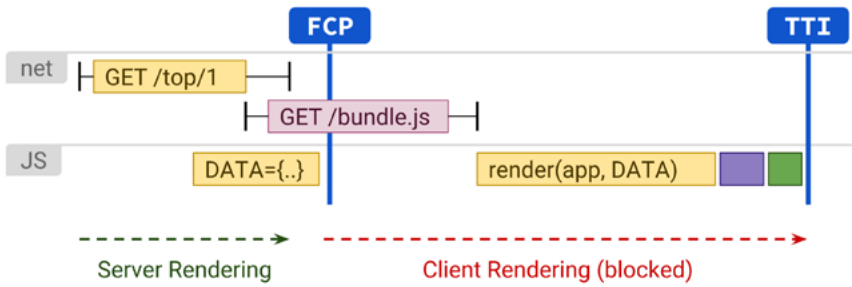


Figure 4. Hydration rendering scheme

Table 1 represents the advantages and disadvantages of each rendering approach. Each approach has its own pros and cons, as well as purpose of usage - from small HTML landing pages to heavy CRM applications and web-apps, so the question of choosing

the right rendering approach completely depends on web-development team decision and should be based on aim of the web-app, it's architecture, audience and other factors that affect the size, complexity and scale of the developed application.

Table 1

Advantages and disadvantages of different rendering approaches

Approach	Advantages	Disadvantages
Static rendering	Fast initial rendering and time to interaction Friendly to search engine optimization Incremental static regeneration	Poor scalability Lack of dynamic content Some users can see old version of pages due to cache issues
Client side rendering	Fast loading and navigation Single page app user experience	Slow initial rendering Bad for the search engine optimization Hard to optimize the performance, javascript bundle size is often too large
Server Side rendering	Fast initial rendering Friendly to search engine optimization Good browser support	Lack of dynamic content Most of the rendering work is done on server so you need powerful server systems when you have a lot of users
Hydration	Fast initial rendering Friendly to search engine optimization Dynamic content Streaming rendering	Practically, you need to build two applications - server side and client side You need to receive the data before you show the content

The main recommendations on building fast effective web-interface are:

1) Use a CDN. Content Delivery Network (CDN) is a geographically distributed network infrastructure that allows you to optimize the delivery and distribution of content to end users on the Internet. The use of CDN helps to increase the download speed of audio, video, software and other digital content by Internet users in the presence of CDN;

2) Caching static and media files. Today, there are many browser APIs that allow you to easily cache different types of client-side files, especially useful for web applications, which are mostly displayed on the client side using JavaScript. Service Workers allow you to cache static files with automatic revalidation. The Cache API provides a wider range of capabilities for caching and controlling different types of media files;

3) Do not display content that the user does not see. If you do not display images, videos and other heavy content that are not displayed in the user's display area, this will greatly increase the speed of the initial display of the web page;

4) Using Web Workers. If you have to perform some difficult calculations when displaying web pages, you should use Web Workers to take the load off the user interface;

5) Preload heavy pages. If you have JavaScript-heavy web pages, you can do additional optimization by pre-loading heavy scripts with simpler, static web pages;

6) Use Lazy Loading. Lazy loading allows you to break the code of a web application into JavaScript into pieces and download the necessary parts only when the user makes

a request. This greatly speeds up the first download of the web application, as the browser does not need to wait until the entire bundle of the web application is loaded;

7) Choose the correct location of servers. It often happens that developers have one server in one region and another server in a remote region from the first. This means that the user has to wait much longer for a response, so it is recommended that you place your servers and databases as close to each other as possible.

Taking into account these recommendations, the decision has been made to build the web application that will follow them. Projecthub is a web application that gives developers a centralized place to manage various aspects of their applications, such as logging changes, receiving customer feedback, a roadmap, and more.

This project includes a variety of web pages, both public and private, and requires a flexible approach to displaying different web pages, so this project is a good example of developing a web application with different approaches to web page architecture.

Project was built using the technologies Next.js, Node.js, PostgreSQL, Prisma, Railway and Supabase. Example of project page (search results page) and corresponding requests list is shown on figure 5.

The result of PSI metrics is shown on figure 6. This result demonstrates that the recommendations on building the web application are useful and help to improve web application performance and user experience. Worth mentioning that none of the pages has shown PSI score less than 92 points out of 100.

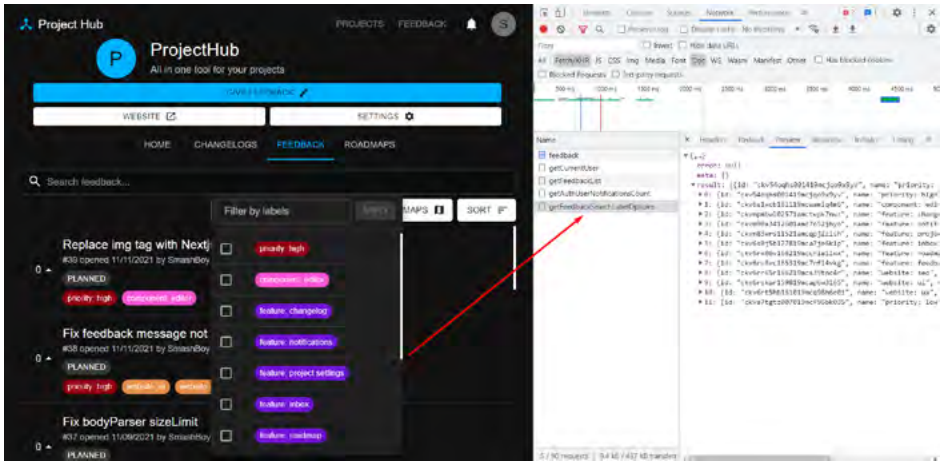


Figure 5. Example of user interface and requests list

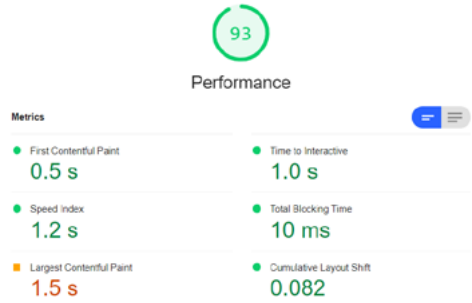


Figure 6. Result of PSI metrics for one of the Projecthub's pages

Conclusions. As it might be seen from the obtained metrics, the recommendations given during research allow to get good results when measuring the rendering performance. As a conclusion, we need to say that any of the architecture can reach high scores of rendering performance if web-developers will follow the mentioned recommendations while building the web-application from scratch. However, the "Software as a service" website builders like Wix or CMS's like Wordpress are not giving us as web-developers to change something in web application architecture, so the problem of their performance optimization is open and should be discussed separately.

Acknowledgements. *Authors want to thank the Armed Forces of Ukraine and all the defenders of Ukraine that give us the possibility to proceed scientific and engineering work in time of war.*

BIBLIOGRAPHY:

1. Gerry McGovern. World Wide Waste: How Digital Is Killing Our Plane and What We Can Do About It. Silver Beach, 2020. 171 p.
2. Онлайн ресурс Web Dev: веб-сайт. URL: https://web.dev (дата звернення: 25.05.2022).
3. Iskandar, Taufan Fadhilah, et al. Comparison between client-side and server-side rendering in the web development. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 21-36.
4. NAKANO, Yuusuke, et al. Web performance acceleration by caching rendering results. In: 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS). IEEE, 2015. p. 244-249.
5. BEKE, Mathias. On the Comparison of Software Quality Attributes for Client-side and Server-side Rendering. 2018. PhD Thesis. Department of Mathematics and Computer Science of the Faculty of Sciences, University of Antwerp.

REFERENCES:

1. McGovern, G. (2020). World Wide Waste: How Digital Is Killing Our Planet and What We Can Do About It. Silver Beach.
2. Let's build the future of the web, together. (2022). *Web.dev*. Retrieved May 25, 2022, from https://web.dev/.
3. Iskandar, T. F., Lubis, M., Kusumasari, T. F., & Lubis, A. R. (2020, May). Comparison between client-side and server-side rendering in the web development. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 801, No. 1, p. 012136). IOP Publishing.
4. Nakano, Y., Kamiyama, N., Shiomoto, K., Hasegawa, G., Murata, M., & Miyahara, H. (2015, August). Web performance acceleration by caching rendering results. In 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS) (pp. 244-249). IEEE.
5. Beke, M. (2018). On the Comparison of Software Quality Attributes for Client-side and Server-side Rendering (Doctoral dissertation, Department of Mathematics and Computer Science of the Faculty of Sciences, University of Antwerp).

УДК 004.827
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.8

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ МАШИННОГО АНАЛІЗУ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ АРХІТЕКТУРИ

Ткаченко М. С. *– студент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0000-0002-5372-0883

Сокульський О. Є. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри інформатики та обчислювальної техніки факультету інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0000-0003-3853-992

Проведено огляд галузей застосування алгоритмів машинного аналізу, що базуються на моделі згорткової нейромережі. Визначено базову архітектуру згорткової нейромережі: організацію шарів нейромережі, принципи вибору функції активації та схему розрахунку функції втрат. Запропоновано комплексну методологію, що надає можливість провести організацію, налаштування та оптимізацію алгоритмів машинного аналізу, що базуються на моделі згорткової нейромережі відповідно цільових показників ефективності точності нейромережевого аналізу та навантаження на обчислювальний ресурс апаратно програмної платформи загального комплексу. Ефективність вирішення поставлених відповідно показників точності та адаптивності системи машинного аналізу, а також навантаження на обчислювальний ресурс і часу обробки даних залежить від особливостей організації нейромережевої архітектури та підходів, що використовуються у процесі навчання CNN. Автором було визначено принципи розробки цілісної та універсальної методології побудови нейромережевих алгоритмів на основі архітектури CNN, що характеризуються високою точністю машинного аналізу за умов мінімізації часу обробки даних при наявних обмеженнях на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи. При цьому у рамках даного дослідження було проведено: визначення принципів побудови структури згорткової нейромережі глибинного навчання; формалізацію математичного апарату проведення процедури згортки; формалізацію математичного апарату проведення процедури пулінгу; модель організації процедури налаштування та оптимізації алгоритмів машинного аналізу, що базується на архітектурі згорткової нейромережі, на рівні кількісних показників.

Ключові слова: *згорткові нейронні мережі, функція активації, функція втрат, ініціалізація параметрів, регуляризація ваги, ітераційні алгоритми оптимізації, цільова функція.*

Tkachenko M. S., Sokulskyi O. Ye. Principles of machine analysis procedure organization based on convolutional neural network architecture

The areas of application of machine analysis algorithms based on the convolutional neural network model are reviewed. The basic architecture of the convolutional neural network is determined: the organization of neural network layers, the principles of activation function selection and the scheme of loss function calculation. The formalization of the learning process of the convolutional neural network based on preprocessing of data, parameters initialization, weights regularization and iterative optimizer algorithms selection is carried out. A complex methodology is proposed, which provides an opportunity to organize, configure and optimize machine analysis algorithms based on the model of convolutional neural network in accordance with the target performance efficiency of neural network analysis and the load on the computing resource of the general complex hardware and software platform.

The effectiveness of the solution of the assigned characteristics of the accuracy and adaptivity of the machine analysis system, as well as the load on the computing resource and the data processing time depends on the features of the neural network architecture organization and the approaches

used in the process of CNN training. The author has defined the principles of development of integral and universal methodology of neural network algorithms based on CNN architecture, which are characterized by high accuracy of machine analysis in conditions of data processing time minimization under the existing restrictions on the computing resource of hardware and software platform. At the same time in this research it was carried out: the definition of the principles of construction of the convolutional neural network structure of deep learning; formalization of the mathematical apparatus of the convolutional procedure; formalization of the mathematical apparatus of the pooling procedure; the model of the organization of the adjustment and optimization of machine analysis algorithms, based on the convolutional neural network architecture, on the quantitative indicators level.

Key words: *convolutional neural networks, activation function, loss function, parameters initialization, weights regularization, iterative optimizer algorithms, target function.*

Вступ. На сьогоднішній день галузі застосування алгоритмів машинного аналізу, що базуються на моделі згорткової нейромережі (Convolutional Neural Network, CNN) включають у себе попередню і пост-обробку графічних даних, виділення і класифікацію візуальних об'єктів, побудову тривимірної сцени, сегментацію матриці зображення, тощо. Це вказує на можливість їх застосування при роботі з широким колом задач, як то машинний аналіз медичних фотоданих [1; 2], обробка даних супутникової і аеро-зйомки [3; 4], організація систем аутентифікації за біометричними показниками і запобігання правопорушень зі застосуванням даних систем відеореєстрації [5; 6], розпізнавання текстових блоків, представлених у растровому вигляді [7; 8], тощо. Ефективність вирішення поставлених відповідно показників точності та адаптивності системи машинного аналізу, а також навантаження на обчислювальний ресурс і часу обробки даних залежить від особливостей організації нейромережевої архітектури та підходів, що використовуються у процесі навчання CNN.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій присвячених проблемам впровадження алгоритмів машинного аналізу масивів графічних даних на основі CNN вказав на основні підходи, що використовуються при класифікації зображень (моделі LeNet-5, AlexNet, ZFNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet і DenseNet) нейромережевими алгоритмами [9-15], виділення візуальних об'єктів через застосування нейромережевої архітектури R-CNN, Fast R-CNN, Faster R CNN, SPP-Net, Mask R-CNN і YOLO [16-21], а також методів сегментації матриці зображення на основі повнозв'язної CNN (Fully Convolutional Network, FCN) та програмними додатками DeepLab, Deconvnet, SegNet, DeepMask, SharpMask, U Net, PANet та TensorMask [22-31]. Проведений аналіз вказав на ***актуальність*** вирішення завдання побудови загальних підходів, що базуються на визначенні кількісних цільових показників, по організації нейромережевих алгоритмів машинного аналізу великих масивів даних у режимі реального часу. Відсутність у представлених дослідженнях універсальної методології, що надає можливість сформувати принципи розробки зазначених алгоритмів, розглядається, відповідно, як ***невирішена частина загального дослідження.***

Таким чином, **метою дослідження** стала розробка цілісної методології побудови нейромережевих алгоритмів на основі архітектури CNN, що характеризуються високою точністю машинного аналізу та якістю обробки вхідних даних за умов мінімізації навантаження на обчислювальний ресурс та часу обробки даних, які можуть бути ефективно використані при роботі з широким колом задач.

1. Особливості організації архітектури згорткової нейромережі

Аналіз базової схеми CNN вказує, що переваги даної архітектури при роботі з графічними даними (узагальнення різнорідних фото-даних і виділення ознак глибокого рівня, зокрема розташування візуального об'єкту та оцінка естетичності

складових зображення), пов'язані з організацією структури CNN, як то наявністю повнозв'язних (Fully Connected, FC) шарів і моделлю прямого розповсюдження (Deep Feed-Forward Architecture, DF-FA), що може бути ефективно організована як нейромережа глибинного навчання [32; 33]. В загальному вигляді архітектура CNN глибинного навчання складається з сандвіч-структури згорткових та пулінгових шарів, що організовані у відповідні набори, де кожен наступний набір виділяє ознаки з більшим рівнем абстракції. Як показано на рис. 1, якщо сандвіч-структура складається з *N*-наборів, то загальна кількість шарів, що включатиме вхідний і вихідний, а також FC-шар, розраховується як (2N + 3).

Можна вказати, що переваги нейромережевих алгоритмів на основі архітектури CNN при відновленні, обробці і аналізі графічних даних можуть бути формалізовані наступним чином: (i) функція розподілу ваги, яка зменшує кількість параметрів і надає можливість уникнути типової проблеми перенавчання нейромережі; (ii) навчання шарів, що відповідають за виділення і класифікацію ознак у рамках однієї процедури, що збільшує цілісність та точність проведення процедури машинного аналізу; (iii) спрощена схема модифікації та масштабування CNN при зміні та розширенні набору поставлених задач.

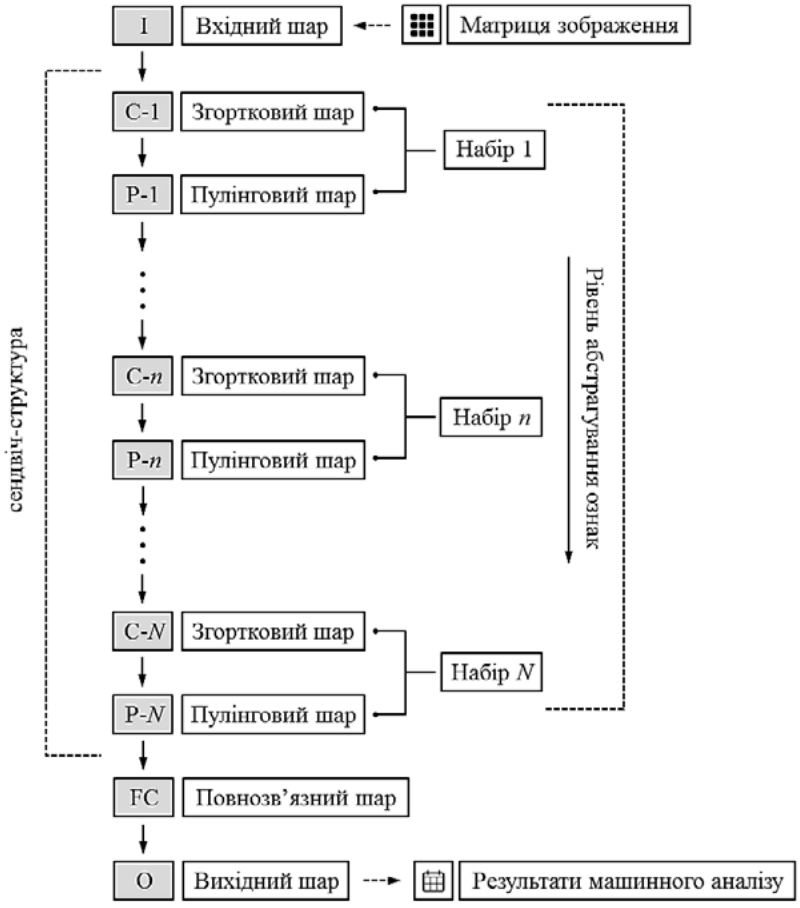


Рис. 1. Базова структура згорткової нейромережі глибинного навчання

Джерело: власна розробка автора

На рівні кожного загорткового шару, що характеризується розміром ядра згортки (Convolutional Kernel, CK), що виконує роль фільтра, здійснюється процедура згортки зображення відповідно заданої метрики для побудови карти ознак (Feature Map, FM). При цьому CK представляє собою матрицю значень, що є вагами ядра, налаштування яких відповідає процесу навчання. Під час обробки графічних даних матриця зображення розбивається на колірні канали і надалі обробляється по багатоканальній схемі, що кратно збільшує швидкість машинного аналізу. Для кожного каналу на основі CK проводиться сканування матриці зображення через зміщення CK на відповідний крок згортки (Convolutional Stride, CS). Слід зазначити, що розмір CS має бути меншим CK для забезпечення часткового перекриття у процесі сканування. CS є аргументом цільових функцій вибір якого відповідає задачі дослідження: при збільшенні CS зменшується навантаження на обчислювальний ресурс і час обробки даних, але водночас зменшується розмірність FM, що, очевидним чином, негативно впливає на ефективність машинного аналізу. Недоліком базового підходу, представленого вище, є те, що периферійні елементи матриці зображення (пікселі) приймають участь у меншій кількості згорток. Це може бути вирішено через застосування операції доповнення зображення (Convolution Padding, CP), що застосовується безпосередньо перед проведення процедури згортки. Згортки, у яких застосовується CP з метою збереження розмірності матриці зображення класифікуються як «однакові» (Same Convolution, SC), а згортки з нульовим доповненням – «правильними» (Valid Convolution, VC).

Відповідно проведеної формалізації виконання процедури згортки, розмірність карти ознак $X_G \times Y_G$, що отримується на виході загорткового шару при розмірності матриці вхідного зображення $X \times Y$ визначається наступними чином:

$$\begin{cases} X_C = \left\lfloor 1 + \dfrac{X - S_{CK} + S_{CP}}{S_{CS}} \right\rfloor \\ Y_C = \left\lfloor 1 + \dfrac{Y - S_{CK} + S_{CP}}{S_{CS}} \right\rfloor \end{cases}, \quad (1)$$

де S_{CK} – розмірність матриці CK, S_{CP} – доповнення згортки, а S_{CS} – розмір CS. Алгоритм розрахунку може бути розширено для прямокутноSo CK, через перехід для розрахунку X_C від S_{CK} до XS_{CK}, а для Y_C від S_{CK} до Y_{CK}. Загальною перевагою застосування згорткових шарів у нейромережевій архітектурі є розріджена зв'язність (тобто відсутність повного набору зв'язків між всіма нейронами сусідніх шарів) та розподіл вагових коефіцієнтів, що у даному випадку не є унікальними для двох окремих нейронів, а відповідає виключно їх зв'язку з елементами вхідних даних, як то пікселями матриці вхідного зображення. Це значно спрощує виконання процедур навчання та машинного аналізу відповідно показників навантаження на обчислювальний ресурс та часу обробки запиту.

Також, як це показано на рис. 1 необхідним елементом архітектури CNN є пулінгові шари, що використовуються для стиснення карт ознак, як додатковий засіб зменшення навантаження на обчислювальний ресурс. Ефективність операції пулінгу визначається через співвіднесення рівня стиснення та мінімізації втрат значимих ознак та точності класифікації. Подібно до операції згортки, операція пулінгу характеризується розміром ядра пулінгу (Pooling Kernel, PK) та кроком сканування (Pooling Stride, PS). Поза відповідних значень S_{PK} і S_{PS}, у якості аргументу цільової функції розглядається і сама функція, на основі якої здійснюється операція пулінгу, як то $F_{P\uparrow}$ – пулінг на основі максимального значення (Max Pooling, MP), $F_{P\downarrow}$ – пулінг на основі мінімального значення (Max Pooling, MP),

F_{AP} – пулінг на основі середнього значення (Average Pooling, AP) та інші підходи, відповідно поставленої задачі, зокрема гібридні схеми [32; 33]. У свою чергу, передостанній шар нейромережевої архітектури – «FC» використовується у якості класифікатора, що об'єднує карти ознак з найвищим рівнем абстрагування. Як це показано на рис. 1 відповідний шар є повнозв'язним по відношенню до останнього пулінгового шару «P-N» і вихідного шару «O».

2. Вибір функції активації та функції втрат згорткової нейромережі

На цільові показники нейромережевого аналізу також впливає вибір функції активації (Activation Functions, AF), що на основі суми вхідних даних нейронів з урахуванням зміщення (за наявності нейронів зміщення) визначає умову спрацювання окремого нейрона. У CNN глибинного навчання для представлення нелінійного відображення між масивом даних на вході та на виході використовується нелінійна AF. Також слід зазначити для організації навчання CNN за методом зворотного поширення помилки використовується диференційована AF. Таким чином, актуальний набір AF, що розглядається у рамках дослідження, включає у себе такі як:

- сигмоїда($A_{Sig}(x)$);
- функція Tanh ($A_{Tanh}(x)$);
- функція ReLu ($A_{ReLu}(x)$), а також побудовані на її основі функції «Leaky ReLu» ($A_{LR}(x)$) і «Noisy ReLU» ($A_{NR}(x)$).

Наведемо математичне представлення зазначених функцій у рамках математичного апарату, що використовується у даному дослідженні:

$$\begin{cases} A_{Sig}(x) = (1+e^{-x})^{-1} \\ A_{Tanh}(x) = (e^{x}-e^{-x})/(e^{x}+e^{-x}) \\ A_{ReLu}(x) = \max\limits_{x}(0;x) \\ A_{LR}(x) = \begin{cases} x \text{ при } x > 0 \\ \mu x \text{ при } x \le 0 \end{cases} \\ A_{NR}(x) = \max\limits_{x}(x+b), \text{де } b \sim F\left(0;\sigma(x)\right) \end{cases} . \quad (2)$$

У свою чергу, цільовий показник точності машинного аналізу визначається на основі функції втрат (Loss Function, LF), а відповідно пошук її глобального мінімуму надає можливість на кількісному рівні вирішити задачу оптимізації нейромережевого алгоритму. На загальному рівні функція втрат базується на співвіднесенні істинних (умовно істинних) параметрів як набору P_i з результатами роботи CNN як набору P_i', де $i \in [1;I]$, причому сама реалізація даної процедури залежить від класу задач, яка виконується на рівні застосування відповідного нейромережевого алгоритму [32; 33].

Розглянемо наступні форми представлення функції втрат, що можуть бути використані у рамках представленого дослідження:

- $L_{SM}(P,P')$ – функція «Soft-Max»;
- $L_E(P,P')$ – функція втрат на основі евклідової метрики (Euclidean Loss Function, ELF);
- $L_H(P,P')$ – кусково-лінійна функція втрат (Hinge Loss Function, HLF).

Аналогічно, математичне представлення зазначених функцій у рамках математичного апарату, що використовується у даному дослідженні може бути проведено наступним чином:

$$\begin{cases} L_{SM}(P,P') = -\sum_{i=1}^{I}(P_i \cdot \log(P_i')) \\ L_E(P,P') = \frac{\sum_{i=1}^{I}(P_i - P_i')^2}{2I} \\ L_H(P,P') = \sum_{i=1}^{I}\left(\max\left(0, \mu - P_i' \cdot (2P_i - 1)\right)\right) \end{cases}. \quad (3)$$

Вибір функції втрат та експериментальне визначення часу обробки запиту при фіксованій архітектурі апаратно-програмного комплексу формують повний набір цільових функцій. Через варіювання аргументів цільових функцій з метою пошуку глобальних мінімумів проводиться процедура оптимізація архітектури CNN.

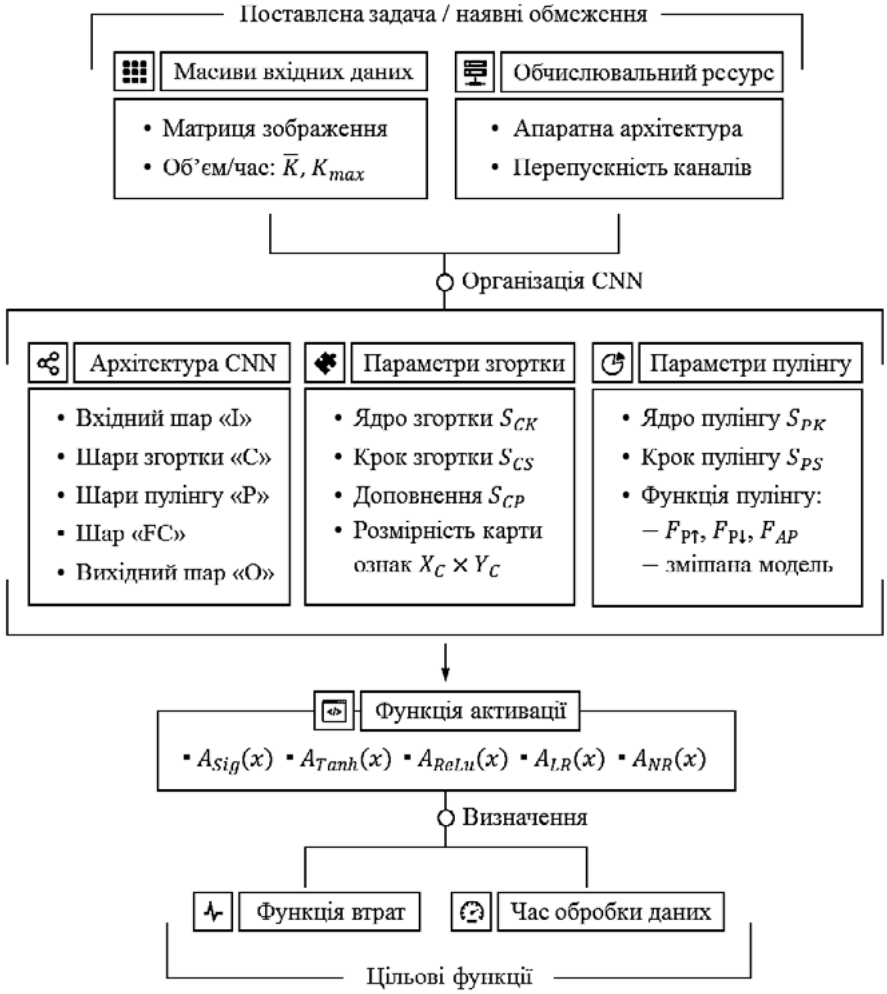


Рис. 2. Схема налаштування та оптимізація алгоритмів машинного аналізу, що базується на архітектурі згорткової нейромережі

Джерело: власна розробка автора

3. Розробка, налаштування та оптимізація алгоритмів машинного аналізу, що базуються на моделі згорткової нейромережі

Алгоритм налаштування та оптимізації процедури машинного аналізу, що базуються на архітектурі CNN у загальному вигляді складається з наступного набору етапів (рис. 2):

1. Визначення типової архітектури апаратно-програмної платформи, що дозволяє оцінити обчислювальний ресурс системи машинного аналізу на основі CNN;

2. Визначення типових параметрів вхідних даних (розмірність матриці зображення $X \times Y$ та кількість зображень, що підлягають аналізу на одиницю часу $\overline{K}$, K_{max});

3. Архітектура CNN глибинного навчання, що визначається через шари «I», «C-*n*», «P-*n*», «FC» і «O»;

4. Параметри згортки: розмірність матриці ядра згортки, розмір доповнення згортки, розмір кроку сканування;

5. Параметри пулінгу: розмірність матриці ядра пулінгу, розмір кроку сканування, а також функція, на основі якої здійснюється операція пулінгу;

6. Вибір функції активації і параметрів функції активації;

7. Розрахунок функції втрат машинного аналізу та визначення часу обробки вхідного запиту;

8. Мінімізація цільових функцій втрат та часу обробки через корегування параметрів нейромережевого алгоритму.

Розширення даного алгоритму можливо через включення у параметри цільових функцій особливості навчання нейромережевих алгоритмів та попередню обробку вхідних даних, що у свою чергу призводить до необхідності включення у цільові функції час навчання та час попередньої обробки.

Висновки. У результаті проведеної роботи було визначено принципи розробки цілісної та універсальної методології побудови нейромережевих алгоритмів на основі архітектури CNN, що характеризуються високою точністю машинного аналізу за умов мінімізації часу обробки даних при наявних обмеженнях на обчислювальний ресурс апаратно-програмної платформи.

При цьому у рамках даного дослідження було проведено:

- визначення принципів побудови структури згорткової нейромережі глибинного навчання;
- формалізацію математичного апарату проведення процедури згортки;
- формалізацію математичного апарату проведення процедури пулінгу;
- модель організації процедури налаштування та оптимізації алгоритмів машинного аналізу, що базується на архітектурі згорткової нейромережі, на рівні кількісних показників.

BIBLIOGRAPHY:

1. Zhao, Y., Ge, F., & Liu, T. (2018). Automatic recognition of holistic functional brain networks using iteratively optimized convolutional neural networks (IO-CNN) with weak label Initialization. *Medical Image Analysis, 47*, 111–126. https://doi.org/10.1016/j.media. 2018.04.002.

2. Li, B., Keikhosravi, A., Loeffler, A. G., & Eliceiri, K. W. (2021). Single image super-resolution for whole slide image using convolutional neural networks and self-supervised color normalization. *Medical Image Analysis, 68*, 101938. https://doi.org/10.1016/j.media. 2020.101938.

3. Maggiori, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G., & Alliez, P. (2017). Convolutional neural networks for large-scale remote-sensing image classification. *IEEE Transactions on*

Geoscience and Remote Sensing, 55(2), 645–657. https://doi.org/10.1109/tgrs.2016.2612821.

4. Ji, C., & Tang, H. (2020). Number of building stories estimation from monocular satellite image using a modified mask R-CNN. *Remote Sensing, 12* (22), 3833. https://doi.org/10.3390/rs12223833.

5. Rasti, P., Uiboupin, T., Escalera, S., & Anbarjafari, G. (2016). Convolutional Neural Network Super resolution for face recognition in surveillance monitoring. *Articulated Motion and Deformable Objects*, 175–184. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41778-3_18.

6. Kumar, S., & Singh, S. K. (2020). Occluded thermal face recognition using bag of CNN. *IEEE Signal Processing Letters, 27*, 975–979. https://doi.org/10.1109/lsp.2020.2996429.

7. Opitz, M., Diem, M., Fiel, S., Kleber, F., & Sablatnig, R. (2014). End-to-end text recognition using local ternary patterns, mser and deep convolutional nets. *2014 11th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems.* https://doi.org/10.1109/das.2014.29.

8. Wang, Z.-R., Du, J., & Wang, J.-M. (2020). Writer-aware CNN for parsimonious HMM-based offline handwritten Chinese text recognition. *Pattern Recognition, 100*, 107102. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2019.107102.

9. Verdhan, V. (2021). Image classification using LeNet. *Computer Vision Using Deep Learning, 67–101*. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6616-8_3.

10. Zhang, X., Pan, W., & Xiao, P. (2018). In-vivo skin capacitive image classification using AlexNet Convolution Neural Network. *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC).* https://doi.org/10.1109/icivc.2018.8492860.

11. Kaddoun, S. S., Aberni, Y., Boubchir, L., Raddadi, M., & Daachi, B. (2021). Convolutional Neural Algorithm for palm vein recognition using ZFNet architecture. *2021 4th International Conference on Bio-Engineering for Smart Technologies (BioSMART).* https://doi.org/10.1109/biosmart54244.2021.9677799.

12. Chaudhari, S., Sardar, V., Rahul, D. S., Chandan, M., Shivakale, M. S., & Harini, K. R. (2021). Performance analysis of CNN, Alexnet and vggnet models for drought prediction using satellite images. *2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON).* https://doi.org/10.1109/asiancon51346.2021.9545068.

13. Teymournezhad, K., Azgomi, H., & Asghari, A. (2022). Detection of counterfeit banknotes by security components based on image processing and GoogLeNet Deep Learning Network. *Signal, Image and Video Processing.* https://doi.org/10.1007/s11760-021-02104-z.

14. M., N. K. (2020). Breast cancer classification of image using modified ResNet. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 12(3), 134–140. https://doi.org/10.5373/jardcs/v12i3/20201175.

15. Li, G., Zhang, C., Lei, R., Zhang, X., Ye, Z., & Li, X. (2019). Hyperspectral remote sensing image classification using three-dimensional-squeeze-and-excitation-densenet (3D-Se-DenseNet). *Remote Sensing Letters, 11*(2), 195–203. https://doi.org/10.1080/2150704x. 2019.1697001

16. Wang, X., Ma, H., & Chen, X. (2016). Salient object detection via Fast R-CNN and low-level cues. *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*.

17. Adam, B., Zaman, F., Yassin, I., Abidin, H., & Rizman, Z. (2018). Performance evaluation of faster R-CNN on GPU for object detection. *Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9* (3S), 909.

18. Kızıloluk, S., & Sert, E. (2022). Hurricane-faster R-CNN-JS: Hurricane Detection with faster R-CNN using artificial Jellyfish Search (JS) optimizer. *Multimedia Tools and Applications.* https://doi.org/10.1007/s11042-022-13156-9.

19. Wei, X., Xie, C., Wu, J., & Shen, C. (2018). Mask-CNN: Localizing parts and selecting descriptors for fine-grained bird species categorization. *Pattern Recognition, 76*, 704-714.

20. Yan, W., Liu, T., & Fu, Y. (2021). Yolo-tight: An efficient dynamic compression method for Yolo Object Detection Networks. *2021 13th International Conference on Machine Learning and Computing.* https://doi.org/10.1145/3457682.3457740.

21. Du, J. (2018). Understanding of Object Detection Based on CNN Family and YOLO. Journal of Physics: *Conference Series*, 1004, 012029.

22. Qin, P. (2019). Fully convolutional-based dense network for lung nodule image retrieval algorithm. *International Journal of Performability Engineering*. https://doi.org/10.23940/ ijpe.19.01.p33.326336.

23. Cai, Y., & Li, Q. (2021). DeepLab network for Meteorological Trough Line Recognition. *2021 4th International Conference on Sensors, Signal and Image Processing.* https://doi.org/10.1145/3502814.3502820.

24. Mukherjee, A., Chakraborty, S., & Saha, S. K. (2019). Detection of loop closure in slam: A DeconvNet based approach. *Applied Soft Computing, 80*, 650–656. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.04.041.

25. Saood, A., & Hatem, I. (2020). Covid-19 lung CT image segmentation using deep learning methods: UNET vs. segnet. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-56882/v2.

26. Wang, P., Xiong, L., & Dan, B. (2021). Surface vortex image segmentation in KR desulfurization based on improved SegNet model. 2021 China Automation Congress (CAC). https://doi.org/10.1109/cac53003.2021.9728231.

27. Son, S.-B., Jung, J.-U., Oh, H.-S., & Jung, Y.-chul. (2020). DeepMask: Face masking system using deep neural networks on real-time streaming. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 26* (6), 423–428. https://doi.org/10.5302/j.icros.2020.20.0029.

28. Trullo, R., Petitjean, C., Ruan, S., Dubray, B., Nie, D., & Shen, D. (2017). Segmentation of organs at risk in thoracic CT images using a SharpMask architecture and conditional random fields. *2017 IEEE 14th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2017).* https://doi.org/10.1109/isbi.2017.7950685.

29. Hu, X., & Yang, H. (2020). Dru-Net: A novel U-Net for biomedical image segmentation. IET Image Processing, 14(1), 192–200. https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2019.0025.

30. Wang, K., Liew, J. H., Zou, Y., Zhou, D., & Feng, J. (2019). Panet: Few-shot image semantic segmentation with prototype alignment. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV).* https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00929.

31. Chen, X., Girshick, R., He, K., & Dollar, P. (2019). TensorMask: A foundation for dense object segmentation. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV).* https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00215.

32. Ghosh A., et al., (2020) *Fundamental Concepts of Convolutional Neural Network.* En Balas V., Kumar R., Srivastava R. (eds) Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things. Intelligent Systems Reference Library. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_36.

33. Qin, Z., et al., (2018). How convolutional neural networks see the world. A survey of convolutional neural network visualization methods. Mathematical Foundations of Computing, 1(2): 149-180. https://doi.org/10.3934/mfc.2018008.

УДК 004.942:658.5
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.9

ПРАВИЛА РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ДВОРІВНЕВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Чикунов П. О. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем
Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту
Української інженерно-педагогічної академії
ORCID ID: 0000-0003-4959-7744

Берестовий А. М. *– кандидат фізико-математичних наук,*
доцент кафедри електромеханічних та комп'ютерних систем
Навчально-наукового професійно-педагогічного інституту
Української інженерно-педагогічної академії
ORCID ID: 0000-0002-2736-5929

Розглянуто задачу створення правил розробки та застосування інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих переробних підприємств з полікритеріальним оцінюванням рішень, що приймаються. Об'єктом дослідження є процеси прийняття рішень при поліальтернативному плануванні діяльності.

Метою виконання дослідження є підвищення ефективності планування виробничої діяльності дворівневих підприємств за рахунок інформаційного забезпечення процесу визначення оптимальних планових завдань.

Запропоновано правила розробки та застосування інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих переробних підприємств, які дозволяють автоматизувати процес прийняття менеджерами обох рівнів полікритеріальних і поліальтернативних рішень при оптимальному плануванні сезонної виробничої діяльності та підтримують адаптацію параметрів математичних моделей розрахунку показників діяльності до мінливих умов сезону. Запропоновано функціональні IDEF0-діаграми підсистеми стратегічного, тактичного та оперативного планування, які забезпечують можливість визначати параметри моделей згідно статистичному матеріалу підприємства.

Розроблене інформаційне забезпечення було досліджено програмно при рішенні завдань оптимального планування обсягів випуску укрупнених видів продукції та оперативного планування обсягів випуску продукції при порушеннях планових завдань. Зіставлення оптимальних рекомендацій з фактичними даними показало, що функціонування інформаційного забезпечення дозволить зменшити витрати виробництва та скоротити в кілька разів витрати часу на складання виробничої програми підрозділів. Реалізація інформаційного забезпечення у вигляді інструментарію менеджерів планово-виробничих служб дозволить підвищити рентабельність дворівневого підприємства в умовах обмеження обігових коштів.

Ключові слова: *планування діяльності, дворівневі підприємства, процес прийняття рішень, інформаційне забезпечення.*

Chykunov P. O., Berestovyi A. M. Rules for development and application of the information support for the decision making proceedings for two-level enterprises

The task of creation the rules for developing and employing information support in the decision-making process for two-level processing enterprises with polycriterial evaluation decisions has been considered. The object of research is the decision-making processes at the polyalternative planning activities.

The goal of the research is the creation of a set of indicators to assess the quality of samples having a single nature, based on the principles of fractal analysis.

Here it has been proposed the rules for developing and employing information support in the decision-making process for the two-level processing enterprises in order to automate it for

the both levels managers in the field of polycriterial and polyalternative decisions at the optimal planning of seasonal production activities and which support the adaptation of the parameters of mathematical calculation models of the activity indicators in changing conditions of the season. The functional IDEF0-diagrams of planning systems have been proposed, which provide the ability to define the models parameters for the analysis of performance indicators.

The developed software has been tested by the software while solving problems of optimal planning of the enlarged production volumes and the operative planning of the volumes output in case of the planned tasks violation.

The comparison of the optimal recommendations to the actual data has showed that the functioning of information support will reduce production costs and reduce by several times the time spent on the preparation of the production program units. Implementation of information support in the form of managers tools for planning and production services will improve the profitability of the two-level enterprise in the terms of the working capital limitations.

Key words: *production planning, two-level processing enterprises, decision-making process, optimality criteria, information support.*

Постановка проблеми. Аналіз роботи гірничодобувних та переробних підприємств [5] показав, що для стабільної роботи в ринкових умовах актуальним завданням є розробка обґрунтованих планів і програм функціонування всіх ділянок підприємства, що враховують ефективність використання всіх видів ресурсів при прийнятті управлінських рішень. Діяльність переробних підприємств, особливо у харчовій галузі, зазвичай характеризується сезонним характером попиту на готову продукцію. Нерівномірність надходження замовлень протягом року ускладнює процес формування портфелю заказів, згідно з яким підрозділи підприємства повинні здійснювати видобуток сировини, її переробку та транспортування продукції.

Неоптимальні виробничі програми призводять до виникнення низки проблем: збільшення запасів сировини, збільшення часу переробки сировини, збільшення витрат на транспортування продукції, збільшення витрат ручної праці [1; 5]. Технологічне обладнання підрозділів відрізняться за своїми техніко-економічними характеристиками, тому витратний механізм випуску одного і того ж виду продукції в різних підрозділах відрізняється на 15-20%.

Інформаційне забезпечення процесу складання менеджерами виробничої програми повинне включати в себе математичні моделі сезонного та оперативного планування діяльності підприємства і критеріїв оцінки виробничої програми і критерії оцінки оптимальних управлінських рішень.

Актуальною є задача створення правил розробки та застосування інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих переробних підприємств з полікритеріальним оцінюванням оптимальних рішень, підпорядкованих завданню збільшення доходу підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показав аналіз техніко-економічної діяльності типового дворівневого підприємства [1; 5], вона відрізняється обсягами випуску продукції по сезонах року, яких може бути, принаймні, два-три. Отже, інформаційне забезпечення повинне вирішувати завдання стратегічного (на сезон), тактичного (на місяць) [2] і оперативного планування (на добу) [3], що підлеглі мети виконання портфеля замовлень з найменшим витратним механізмом. Прийняття рішень при плануванні діяльності повинно супроводжуватися оцінкою витратного механізму, тому у роботі [5] виконано аналіз механізму формування виробничих витрат по випуску укрупнених видів продукції підрозділами підприємства.

Сучасний інструментарій розробника інформаційного забезпечення може бути заснований на пакетах прикладних програм, найбільш прийнятним з яких є MATLAB. Цей пакет дозволяє формалізувати структуру складної ієрархічної

системи, здійснювати адаптивну настройку функціональних моделей, розраховувати варіанти виробничої програми по статичним моделям [9]. Також можливо реалізовувати процедури чисельного диференціювання та інтегрування для здійснення параметричної ідентифікації моделей.

Постановка завдання. Метою дослідження є підвищення ефективності планування та управління виробничою діяльністю переробних дворівневих підприємств з сезонним характером попиту за рахунок автоматизації процесу визначення економічно обґрунтованих планових завдань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Верхній рівень структури управління підприємством зазвичай представлений заводоуправлінням. Нижній рівень представлений видобувними та переробними підрозділами. Планування діяльності на верхньому рівні здійснюється за укрупненими позиціями портфеля замовлень, а виконання завдань на нижньому рівні – за розширеним асортиментом.

Для визначення стратегії діяльності необхідно вирішити задачу розробки інструментарію менеджерів обох рівнів структури управління, який включає в себе математичні моделі сезонного планування діяльності структурних підрозділів та критерії оцінки оптимальних рішень. Поточна діяльність підрозділів супроводжується випадковими відхиленнями від планових завдань, тому визначає актуальність включення в інструментарій математичних моделей і критеріїв оптимальної оцінки оперативних рішень.

Правила розробки інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих підприємств.

1. Проведення аналізу характеристик об'єкта управління:

– виділення рівнів структури управління підприємством;

– визначення функціональних особливостей діяльності менеджерів планових служб, тобто осіб, які приймають рішення (ОПР);

– формування видів асортименту продукції;

– дослідження характеру завдань, що вирішуються ОПР;

– визначення взаємозалежностей між показниками діяльності;

– визначення протиріч між завданнями верхнього і нижнього рівнів.

2. На підставі аналізу характеристик підприємства розробляються теоретико-множинні представлення взаємозалежностей показників:

– формалізація сукупності показників діяльності ОПР обох рівнів, визначення формалізованих взаємозалежностей між ними;

– подання взаємозалежностей між показниками діяльності обох рівнів;

– розробка теоретико-множинних представлень взаємозалежностей: видів продукції, обсягів випуску укрупнених і розширених видів продукції.

3. На підставі розроблених теоретико-множинних представлень визначається загальний вид залежностей для вирішення задач планування:

– визначення переліку залежностей, що характеризують діяльність;

– для залежностей, що описують стаціонарні процеси, розробляються статичні статистичні рівняння виду $y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i x_{ij}$, а для залежностей, що описують нестаціонарні процеси, розробляються динамічні детерміновані рівняння виду $\frac{dy_j}{dt} = f\left(x_{ij}, y_j t\right)$;

– формування структури розділів бази даних, необхідної для зберігання і обробки показників діяльності підприємства.

4. Збір статистичного матеріалу та виділення періодів, що характеризуються рівномірним процесом формування портфеля замовлень.

5. Зібраний статистичний матеріал групується в інформаційні матриці:

– за допомогою методів прикладного регресійного аналізу визначаються параметри рівнянь виду $y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i x_{ij}$, що враховують передісторію діяльності;

– за допомогою методів кореляційного аналізу визначається ступінь лінійності отриманих рівнянь.

6. Визначення варіантів постановок завдань прийняття рішень: досягнення максимального доходу або мінімального витратного механізму.

7. Виділення неантагоністичних протиріч між завданнями обох рівнів.

8. Формування порядку узгодження неантагоністичних протиріч і визначення умови отримання рішення, що виникає при згладжуванні протиріч.

9. Розробка механізму адаптації параметрів рівнянь математичних моделей, який буде забезпечувати заданий рівень точності розрахунків.

10. Розробка алгоритмів і програм розрахунку по статичним статистичними моделям і визначення оптимальних рекомендацій.

11. Розробка інструкції користувача, яка визначає порядок введення запитів і отримання оптимальних рекомендацій.

12. Здійснення дослідної експлуатації інформаційного забезпечення.

13. Здійснення перевірки адекватності математичного апарату за результатами дослідно-промислової експлуатації.

14. Для вирішення завдання оперативного прогнозу і управління підрозділом формування системи параметричних диференціальних рівнянь.

15. Для ідентифікації параметрів динамічних моделей, виконується розробка програм апроксимування значень часткових похідних.

16. Згідно з інформаційними матрицями, виконується визначення параметрів динамічних моделей для кожного підрозділу підприємства.

17. Постановка завдання оперативного прийняття рішень і його формалізація у вигляді функціоналу мети, що допускає отримання експертних оцінок прийнятих рішень.

18. Розробка інструкції користувача для ОПР та системного програміста.

Розробка інструкція користувача інформаційного забезпечення. Для ОПР планових служб підприємства і підрозділів розроблена інструкція користувача. Для більш ефективного засвоєння інструкції, вона також розроблена у текстовій формі та у графічній нотації IDEF0 [9]. У IDEF0-нотації розроблені функціональні діаграми підсистем стратегічного (рис. 1), тактичного та оперативного (рис. 2) планування діяльності підприємства.

1. Інструментарій стратегічного планування.

1.1. Менеджер верхнього рівня обирає потрібний сезон та з відділу маркетингу отримує сезонні заявки, що згруповані по портфелю замовлень.

1.2. Блоки інструментарію надають ОПР доступ до програм розрахунків по статистичним моделям і визначення оптимальних рекомендацій.

1.2.1. Перший блок інструментарію – ймовірнісна оцінка валового випуску на сезон. Згруповані на сезон позиції портфеля замовлень, які менеджер спочатку використовує як планові завдання по випуску укрупнених видів продукції A_i, оцінюються за допомогою рівнянь виду (1).

$$G_{\hat{A}} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i G\left(A_i\right). \qquad (1)$$

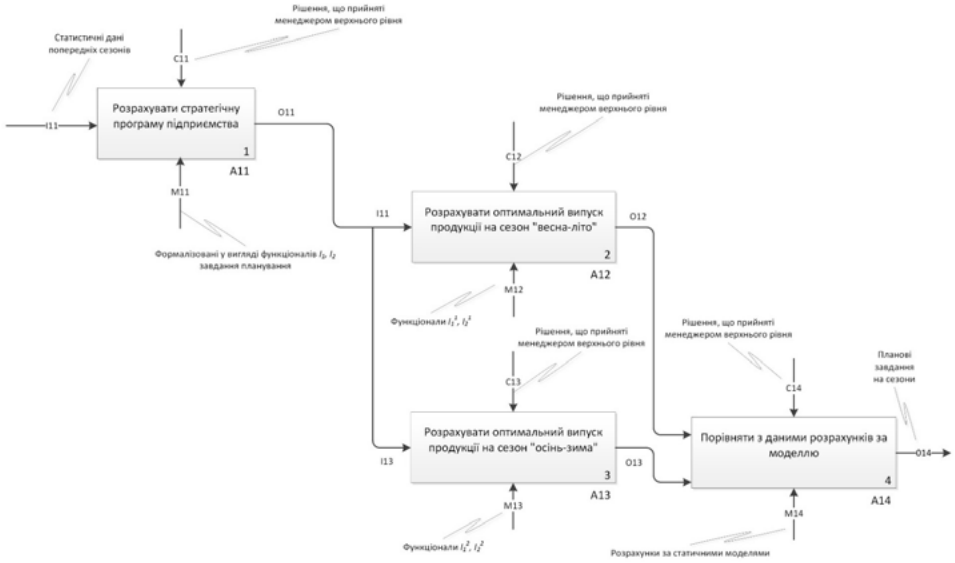


Рис. 1. IDEF0-діаграма підсистеми стратегічного планування

За цими рівняннями розраховують імовірнісний валовий випуск продукції в цілому по підприємству. Цей блок має самостійне значення і дозволяє менеджеру приймати поліальтернативні експертні рішення.

1.2.2. Другий блок – визначення оптимальних сезонних планових рішень, підлеглих завданню отримання підприємством максимального доходу. Менеджер підставляє позиції портфеля замовлень в блок розрахунку функціоналів цілі стратегічного планування:

$$I_1 = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i Ц\left(A_i\right) G\left(A_i\right) \rightarrow \max_{Ц(A_i)G(A_i)}. \quad (2)$$

За допомогою генетичного алгоритму визначають параметри рівнянь, тобто оптимальне планові значення обсягів випуску продукції. ОПР підставляє ці значення в блок 1.2.1 і отримує розрахунковий валовий випуск продукції підприємством, що відповідає оптимальному вирішенню. Якщо валовий випуск при оптимальному рішенні менше портфельного (блок 1.2.1), ОПР може розрахувати суб’єктивні варіанти планового завдання.

1.2.3. Третій блок – імовірнісна оцінка валового випуску продукції підрозділами за сезон. Виходячи з власної практики розподілу плану, менеджер верхнього рівня суб’єктивно розподіляє випуск планового завдання по всіх підрозділах і підставляє їх в блок розрахунку рівнянь виду (3).

Параметри рівнянь отримують методом прикладного регресійного аналізу. Далі розраховується валовий випуск продукції підприємством, виходячи з завантаження підрозділів. Це значення може зіставлятися зі значенням, отриманим в блоці 1.2.2.

$$G_{\hat{A}} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{m} \beta_j G\left(S_j\right). \quad (3)$$

1.2.4. Четвертий блок – визначення оптимальних планових рішень, підлеглих задачі досягнення мінімального витратного механізму. Вихідними є значення

валового випуску продукції кожним підрозділом підприємства, розраховані в блоці 1.2.3, які підставляються менеджером в блок розрахунку функціоналів цілі стратегічного планування виду:

$$I_2 = \beta_0 + \sum_{j=1}^{m} \beta_j Z_j G\left(S_j\right) \to \min_{Z_j \cdot G\left(S_j\right)}. \quad (4)$$

Параметри рівнянь отримують за допомогою генетичного алгоритму, тобто визначають оптимальні значення обсягів валового випуску продукції для кожного підрозділу. Менеджер підставляє отримані оптимальні значення в рівняння блоку 1.2.3 і розраховує валовий випуск продукції по підприємству. Якщо він не гірше розрахованих в попередніх блоках, то отримані оптимальні значення приймається в якості планових завдань.

1.2.5. П'ятий блок – імовірнісна оцінка планових сезонних завдань і визначення оптимальних планових рішень ОПР служб нижнього рівня.

1.2.5.1. Імовірнісна оцінка валового випуску продукції підрозділом на сезон. Плановий валовий випуск продукції, отриманий з верхнього рівня, суб'єктивно розподіляється ОПР і-го підрозділу по укрупненим видам продукції і оцінюється для поточного сезону. Цей блок може бути використаний для отримання альтернативних планових завдань підрозділів.

1.2.5.2. Визначення кожному підрозділу оптимальних сезонних планових завдань, підпорядкованих завданню отримання максимального доходу. Для отримання оптимальних рішень по укрупнених видів продукції менеджер і-го підрозділу використовує функціонали цілі стратегічного планування нижнього рівня, подібні функціоналам блоку 1.2.2, і за допомогою генетичного алгоритму визначає оптимальні значення обсягів випуску укрупнених видів продукції підрозділом. Менеджер підставляє оптимальні значення в блок розрахунку рівнянь виду (5) і отримує розрахунковий валовий випуск продукції підприємством.

$$G\left(S_j\right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i g_j\left(A_i\right). \quad (5)$$

Числові значення валових обсягів випуску укрупнених видів продукції сумарно відповідають плановим завданням верхнього рівня (блок 1.2.1).

1.2.6. Шостий блок – прийняття узгоджених рішень. Менеджер верхнього рівня може приймати рішення по валовому випуску продукції підприємством, що підлеглі завданню отримання максимального доходу (блок 1.2.2) або завданню досягнення мінімального витратного механізму (1.2.4). Виникають неантагоністичні протиріччя, якщо підрозділ не може виконати планове завдання верхнього рівня, тобто сезонний валовий випуск продукції буде менше планового завдання, розрахованого на верхньому рівні. Таким чином здійснюється суб'єктивне згладжування виникаючих протиріч.

1.3. Остаточний варіант плану передається для заповнення розділів БД і коригування параметрів рівнянь моделі стратегічного планування.

2. Інструментарій тактичного планування в цілому відповідає інструментарію стратегічного планування, за винятком періоду: менеджер планової служби підприємства обирає місяць поточного сезону та з відділу маркетингу отримує заявки, що згруповані по портфелю замовлень на місяць.

3. Інструментарій оперативного планування.

3.1. Наприкінці поточної доби менеджери планово-виробничих служб підрозділів підводять підсумок виконання планового завдання. При виникненні виробничих порушень виникає ситуація, коли не виконується планове завдання поточної

доби (неув’язка). Менеджер нижнього рівня повинен визначити шляхи реалізації планової діяльності на наступну добу або декілька діб таким чином, щоб сумарне планове завдання було виконано.

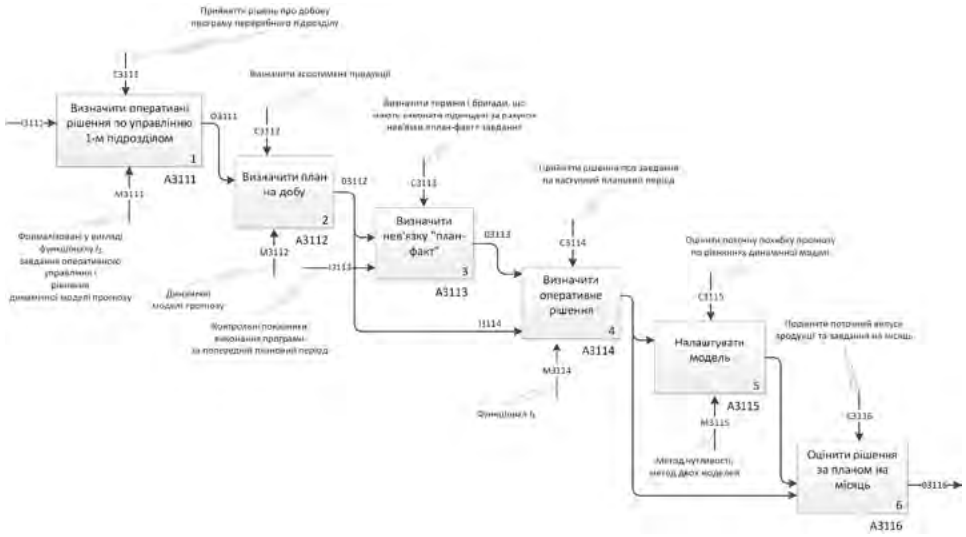


Рис. 2. IDEF0-діаграма підсистеми оперативного планування

3.2. Блок визначення оптимальних планових рішень, підлеглих задачі досягнення підрозділом максимального випуску продукції. Менеджеру необхідно визначити виробничі завдання наступних діб з урахуванням неув’язок. Користуючись своєю експертною оцінкою і знаючи причини, що викликали неув’язку, менеджер задає значення пайових коефіцієнтів, що визначають пріоритет випуску видів продукції. Ці значення підставляються в блок розрахунку функціоналів мети оперативного управління виду:

$$I_5 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i g_{cф}(A_i) \to \max_{g_{cф}(A_i)}. \tag{6}$$

Добові завдання по випуску продукції підрозділом з урахуванням неув’язок обчислюють за формулою (12), при чому долі добового обсягу випуску визначаються ОПР, виходячи з власного опиту. За допомогою генетичного алгоритму визначаються значення обсягів випуску продукції, що доставляють максимум випуску продукції з урахуванням поточної планової неув’язки.

$$g_{cф}(A_i) = g_c(A_i) + \left|\Delta g_ф\right|(A_i). \tag{7}$$

3.3. Отримані оптимальні значення обсягів випуску укрупнених видів продукції менеджер розділяє на складові частини, тобто за видами розширеного асортименту готової продукції.

3.4. Для визначення можливості виконання оптимального рішення, розрахованого в блоці 3.2 і розподіленого в блоці 3.3, менеджер викликає програму розрахунків диференціальних рівнянь динамічної детермінованою моделі, де в якості початкових умов задачі Коші виступають планові завдання наступної доби з випуску укрупнених видів продукції, а кінцевими умовами є планове завдання наступної доби плюс неув’язка за поточну добу.

Інтегральні значення, що отримані в результаті рішення системи рівнянь методом Рунге-Кута 4-го порядку, характеризують прогноз виконання виробничої програми підрозділами. Залежно від меж інтегрування прогноз може здійснюватися на будь-який, наперед заданий період.

Ідентифіковані рівняння динамічної моделі дозволяють ОПР підрозділу розрахувати планові завдання на кожну добу місяця. Вирішивши рівняння моделі, ОПР визначає, за який період часу буде проведений певний обсяг розширеного виду, тобто відпрацьована наявна неув'язку.

Якщо розрахований період не влаштовує менеджера, він знову звертається до функціоналу в блоці 3.2, змінюючи значення пайових коефіцієнтів. Такий алгоритм дозволяє менеджеру підрозділу приймати поліальтернативні планові рішення, що дозволяють відпрацьовувати неув'язку за наступну добу або більше.

3.5. Оскільки виробничі порушення виникають практично постійно, менеджеру необхідно перерозподіляти всі неув'язки на наступний період за допомогою інструментарію стратегічного і тактичного планування.

3.6. Всі отримані рішення по укрупнених і розширеному асортименту продукції систематично передається для заповнення розділів бази даних даного підрозділу.

Висновки і пропозиції. В результаті проведеного дослідження вирішена наукова задача створення правил розробки та застосування інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих переробних підприємств, які дозволяють автоматизувати процес прийняття менеджерами обох рівнів полікритеріальних і поліальтернативних рішень при оптимальному плануванні сезонної виробничої діяльності. Реалізація інформаційного забезпечення у вигляді інструментарію менеджерів планово-виробничих служб дозволить підвищити рентабельність підприємства.

Отримав подальший розвиток метод прийняття управлінських рішень, що враховує особливості співпідпорядкованості рішень, прийнятих менеджерами на двох рівнях структури підприємства при плануванні обсягів випуску продукції в умовах неантагоністичного протиріччя інтересів обох рівнів, а також дозволяє приймати рішення менеджерами нижнього рівня з оперативного планування обсягів випуску асортименту продукції при виникненні порушення планових завдань.

Згідно з методологією IDEF0 розроблені функціональні діаграми підсистеми стратегічного, тактичного та оперативного планування, які необхідні для визначення параметрів моделей розрахунку показників діяльності згідно статистичному матеріалу підприємства, а також для налаштування параметрів моделей по рекурентним процедурам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ge X., Yang F., Han Q. (2017). Distributed networked control systems: A brief overview. *Information Sciences*, 380, 117-131. URL: https://doi.org/ 10.1016/j.ins.2015.07.047.

2. Прокопенко Т.А., Ладанюк А.П. Информационная модель управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе организационно-технических систем. *Проблемы управления и информатики,* 2014. №5. с. 64-70.

3. Wang H. et al. Adaptive fuzzy decentralized control for a class of strong interconnected nonlinear systems with un-modeled dynamics. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2017. Volume: PP, Issue: 99.

4. Marttunen M., Lienert J., Belton V. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European*

Journal of Operational Research. 2017. T. 263. Vol. 1. P. 1-17. URL: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041.

5. Чикунов П.О., Криводубський О.О. Метод побудови інформаційної технології системи підтримки прийняття рішень для багаторівневих підприємств з сезонною діяльністю. *Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* Х. : НТУ «ХПІ», 2014. № 61 (1103). с. 42-54.

6. Simani S., Fantuzzi C., Patton R.J. Model-based fault diagnosis in dynamic systems using identification techniques. *Springer Science & Business Media*, 2013. 282 p.

7. Прокопенко Т.О. Методологічні основи управління технологічними комплексами в умовах невизначеності. *Технологический аудит и резервы производства*. 2013. №. 6 (4). с. 27-29.

8. Nikishenko A., Boyko E., Obzherin Y. Automated decision-making system based on genetic algorithm in managing maintenance process // *MATEC Web of Conferences. EDP Sciences*, 2017. V. 129, 03010. URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201712903010.

9. Buede D. M., Miller W. D. The engineering design of systems: models and methods. *John Wiley & Sons*, 2016.

REFERENCES:

1. Ge, X., Yang, F., & Han, Q.L. (2017). Distributed networked control systems: A brief overview. *Information Sciences*, 380, 117-131. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.ins.2015.07.047

2. Prokopenko, T.A., & Ladanyuk, A.P. (2014). Informatsionnaya model upravleniya tehnologicheskimi kompleksami nepreryivnogo tipa v klasse organizatsionno-tehnicheskih sistem [Information model for the management of technological complexes of continuous type in the class of organizational and technical systems]. *Problemyi upravleniya i informatiki*, (5), 64-70 [in Russian].

3. Wang, H., Liu, W., Qiu, J., & Liu, P.X. (2017). Adaptive fuzzy decentralized control for a class of strong interconnected nonlinear systems with un-modeled dynamics. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Retrieved from: https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2017.2694799.

4. Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1-17. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041.

5. Chikunov, P.O., & Krivodubskiy, O.O. (2014). Metod pobudovi informatsiynoyi tehnologiyi sistemi pidtrimki priynyattya rishen dlya bagatorivnevih pidpriemstv z sezonnoyu diyalnistyu [The method of stimulating information technology of the system of support for the adoption of a solution for two-level enterprises with seasonal activities]. *Sistemniy analiz, upravlinnya ta informatsiyni tehnologiyi*, 61 (1103), 40-52 [in Ukrainian].

6. Simani, S., Fantuzzi, C., & Patton, R. J. (2013). Model-based fault diagnosis in dynamic systems using identification techniques. *Springer Science & Business Media*. Retrieved from: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3829-7.

7. Prokopenko, T.O. (2013). Metodologichni osnovi upravlinnya tehnologichnimi kompleksami v umovah neviznachenosti. *Tehnologicheskiy audit i rezervyi proizvodstva* (Vol 6 (4)). 27-29 [in Ukrainian].

8. Nikishenko, A., Boyko, E., & Obzherin, Y. (2017). Automated decision-making system based on genetic algorithm in managing maintenance process [Methodological bases of management of technological complexes in the conditions of uncertainty]. *In MATEC Web of Conference*s (Vol. 129 (03010)). Retrieved from: https://doi.org/10.1051/matecconf/201712903010.

9. Buede, D.M., & Miller, W.D. (2016). The engineering design of systems: models and methods. *John Wiley & Sons*.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 355.58.0001:351.862.001:621.396.62
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.10

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГРОЗ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ

Невольніченко А. І. *– кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник*
Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка
ORCID ID: 0000-0002-6247-1970

Чумаченко С. М. *– доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем*
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0002-8894-4262

Михайлова А. В. *– кандидат технічних наук, учений секретар*
Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
ORCID ID: 0000-0001-9440-4417

Пиріков О. В. *– кандидат технічних наук, доцент, експерт*
Громадської організації «Фундація розвитку екологічних та енергетичних ринків»
ORCID ID: 0000-0002-7077-3645

Мурасов Р. К. *– кандидат технічних наук, докторант*
Національного університету оборони України
ORCID ID: 0000-0003-0800-2062

В поданій науковій статті запропоновано один із підходів оцінювання загроз у сфері техногенної та екологічної безпеки, що полягає у застосуванні методу системної динаміки. Актуальність дослідження таких загроз підтверджується технічною зношеністю та застарілістю об'єктів критичної інфраструктури, небезпеками воєнного та терористичного характеру, кібератаками тощо. Зазначене може призвести до підвищення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на об'єктах критичної інфраструктури. Це у свою чергу може спричинити ескалацію та розвиток

небезпечних сценаріїв техногенних аварій і катастроф з руйнуванням об'єктів критичної інфраструктури, виникненням екологічних наслідків для життя і здоров'я людей, що проживають на прилеглій території. У статті проведено аналіз нормативної бази та результатів досліджень вітчизняних науковців у галузі оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури. Авторами визначено, що одним із елементів забезпечення складової національної безпеки України є проведення моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури. В результаті аналітичного огляду наукових досліджень вітчизняних вчених зроблено висновок, що на теперішній час питання математичного і комп'ютерного моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури залишається фрагментарно невирішеним. У статті досліджено можливість імплементації підходу моделювання загроз у сфері техногенної та екологічної безпеки, які можуть стати причиною виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури, методом системної динаміки з використанням пуассонівських потоків. Авторами висловлено припущення, що застосування такого підходу дасть можливість забезпечувати підтримку прийняття рішень в системі запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру.

Ключові слова: *системна динаміка, моделювання, загроза, надзвичайна ситуація, об'єкт критичної інфраструктури, національна безпека, цивільний захист, техногенна безпека, екологічна безпека.*

Nevolnichenko A. I., Chumachenko S. M., Mykhailova A. V., Pyrikov O. V., Myrasov R. K. Modelling of threats of emergencies at critical infrastructure facilities using systemic dynamics method

The paper submitted proposes one of the approaches for the estimation of threats in the sphere of technical and ecological safety which lies in the application of systemic dynamics method. Actuality o studying such threats is confirmed by deterioration and obsolescence of critical infrastructure facilities, dangers of military and terrorist nature, cyber attacks etc. The aforementioned could lead to rising probability of emergencies of technical nature at critical infrastructure facilities. This in turn could cause escalation and development of dangerous scenarios of technical failures and catastrophes accompanied by destruction of critical infrastructure facilities and occurrence of negative ecological consequences for life and health of the persons dwelling at the adjacent territory. The paper analyses regulatory bases and results of the studies having been conducted by the domestic scientists in the sphere of estimation of threats for critical infrastructure facilities. The authors defined that one of the elements of ensuring the constituent part of the national safety of Ukraine was modelling of threats of emergencies at critical infrastructure facilities. As a result of analytical reviewing of the studies having been conducted by the domestic scientists we conclude that the issue of mathematical and computer modelling of threats of emergencies at critical infrastructure facilities remains partially unsolved today. The paper studies the possibility of implementation of the approach of modelling threats in the sphere oa technical and ecological safety which could be the reason for emergencies at critical infrastructure facilities by systemic dynamics using Poisson flows. The authors expressed their vision that application of such an approach is to make it possible to provide some support for making decisions in the system of prevention and responding to emergencies of technical and natural character.

Key words: *systemic dynamics, modelling, threat, emergency, critical infrastructure, national safety, civil defense, technical safety, ecological safety.*

Постановка проблеми та її актуальність. Аналіз сучасного стану досліджень в сфері оцінювання загроз у сфері техногенної та екологічної безпеки актуалізує пошук і впровадження інноваційних підходів для розроблення сучасних методів і засобів математичного моделювання для захисту критичної інфраструктури (далі – КІ). Зношеність та застарілість технічного стану об'єктів критичної інфраструктури (далі – ОКІ), воєнні, терористичні небезпеки, кібератаки тощо призводять до підвищення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій (далі – НС) на ОКІ. Це може спровокувати реалізацію небезпечних сценаріїв техногенних аварій і катастроф з руйнування КІ, спричинити загрозу для життя і здоров'я людей, що проживають на прилеглій території. Зважаючи на наведене вище, актуальною науковою проблемою сьогодення є організація й забезпечення ефективної підтримки прийняття рішень із застосуванням сучасних підходів щодо реагування

на загрози загроз у сфері техногенної та екологічної безпеки з метою підвищення рівня техногенної безпеки для захисту КІ.

Реалізація державної політики у сфері цивільного захисту в Україні забезпечується Єдиною державною системою цивільного захисту (далі – ЄДСЦЗ), безпосереднє керівництво якою здійснює Державна служба України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС). Одним із завдань ЄДСЦЗ є запобігання виникнення НС [1; 2]. Таким чином, сили і засоби цивільного захисту повинні бути спроможними до своєчасного реагування на можливі загрози у сфері техногенної та екологічної безпеки на ОКІ.

Пошук нових підходів під час проведення відповідних наукових досліджень потребує розвитку математичного і комп'ютерного імітаційного моделювання загроз виникнення НС на ОКІ, тому що надійне функціонування останніх стане запорукою забезпечення екологічної, техногенної і економічної складових національної безпеки України в сучасних геополітичних умовах. Застосування математичних методів і сучасних комп'ютерних технологій для оцінювання загроз і моделювання сценаріїв розвитку НС в КІ дозволять сформувати відповідну актуальну базу даних для проведення подальших досліджень, підвищити достовірність і об'єктивність отриманих наукових результатів, а також забезпечити готовність відповідних органів і підрозділів ДСНС щодо підтримки прийняття рішень для попередження НС на ОКІ, ефективного реагування та їх ліквідації.

Аналіз нормативної бази, останніх досліджень та публікацій в сфері захисту КІ.

З метою забезпечення положень національної безпеки [3] в розрізі забезпечення захищеності території, довкілля та населення від НС на ОКІ в Україні прийнято ряд нормативних документів, зокрема:

– Закон України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [4];

– Закон України «Про боротьбу з тероризмом» [5];

– Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [6];

У розвиток нормативної бази щодо захисту ОКІ в подальшому було затверджено Концепцію створення державної системи захисту критичної інфраструктури [7]. У Концепції зазначено, що державна система захисту КІ спрямована на забезпечення її стійкості до загроз усіх видів, в тому числі НС природного, техногенного характеру, а також загроз, спричинених протиправними діями, тощо.

Особливої уваги заслуговує Закон України «Про критичну інфраструктуру» [8], який був прийнятий наприкінці минулого року. Цей документ визначає правові та організаційні засади створення і функціонування національної системи захисту КІ. Таким чином, з прийняттям зазначеного вище нормативного документу на сьогодні узаконено: понятійний апарат системи КІ; засади державної політики у сфері захисту КІ; завдання державної політики у сфері захисту КІ, а також критерії для віднесення об'єктів до КІ тощо.

Вивчення питань оцінки загроз у сфері техногенної та екологічної безпеки щодо захисту КІ в Україні знайшло в роботах таких вітчизняних вчених, як Д. Бірюков [9-11], Д. Бобро [12], П. Волянський [13], В. Євсєєв [14], Резнікова О.О. [15], О. Лисенко [16], І. Уряднікова [17], С. Чумаченко [18-21] та інші.

У роботі [12] автор проводить аналіз сучасних методологічних підходів до оцінки критичності об'єктів інфраструктури та пропонує трирівневу ієрархічну модель критеріїв її визначення. З урахуванням невизначеності, неточності та неповноти інформації, необхідної для коректної оцінки загроз та ризиків критичній інфраструктурі,

проводиться оцінка багатовимірності можливих наслідків, при цьому необхідність урахування численних взаємозв'язків та взаємозалежностей ОКІ, універсальність оцінки критичності може забезпечити застосування методів нечіткої логіки та експертних оцінок. Запропонована автором трирівнева ієрархічна модель критеріїв визначення критичності інфраструктури дозволяє обґрунтувати пропозиції щодо подальших кроків з розбудови в Україні державної системи захисту КІ.

В монографії [13] колективом авторів проведено аналіз стану безпеки ОКІ та феноменологічне моделювання сценаріїв впливу НС на стале функціонування КІ; здійснено класифікацію ризиків функціонування КІ в умовах НС та обґрунтування методики оцінювання ризиків функціонування КІ та збитків від НС. В статті [14] проведено аналіз досвіду захисту КІ в провідних країнах світу та наведено можливі шляхи вдосконалення її захисту в Україні.

Аналітичний огляд [15] висвітлює підходи до оцінювання ризиків і загроз для національних систем Великобританії, Нідерландів, Нової Зеландії та США, в тому числі і для КІ, з використанням експертних методів. У матеріалах статті [16] надається розгорнутий огляд найбільш поширених підходів щодо формування стратегій управління ризиками на ОКІ, при виборі стратегії в умовах невизначеності пропонується використання різних критеріїв, що враховують факторoформуючі установки й обмеження щодо умов його життєдіяльності людей та інших обставин. Також авторами надається розгорнутий аналіз застосування критеріїв Вальда, Лапласа, Севіджа.

Водночас, незважаючи на значний інтерес та проведені дослідження вітчизняних науковців за цим напрямом питання математичного і комп'ютерного моделювання загроз виникнення НС на ОКІ досі залишається фрагментарно невирішеним.

Метою цієї **роботи** є дослідження можливості імплементації підходу моделювання техногенно-екологічних загроз виникнення НС на ОКІ методом системної динаміки для забезпечення підтримки прийняття рішень в системі попередження та реагування на НС техногенного та природного характеру.

Основні результати досліджень. Системний підхід до вивчення ОКІ, складається з [22-26]:

– визначення утворюючих її складових частин – $\Gamma_1, \Gamma_2, \ldots, \Gamma_n$ і взаємодіючих з нею об'єктів навколишнього середовища – $S_1, S_2, \ldots, S_k$;

– встановлення структури, тобто сукупності внутрішніх зв'язків і відносин КІ, а також зв'язків між ОКІ і навколишнім середовищем $\Sigma_1, \Sigma_2, \ldots, \Sigma_r$;

– побудови функцій (законів функціонування) системи КІ F, що визначає характер зміни компонентів системи КІ і зв'язків між ними під дією зовнішніх об'єктів $S_1(t), S_2(t), \ldots, S_k(t)$.

Елементи КІ $\Gamma_1, \Gamma_2, \ldots, \Gamma_n$, які пов'язані між собою різними зв'язками і відносинами, називаються системоутворюючими, тому що саме їхня наявність перетворює набір елементів у цілісну систему КІ.

З формальної точки зору система ОКІ впливає сама і зазнає впливу з боку незліченної кількості зовнішніх стосовно неї систем $S_1, S_2, \ldots, S_m$. Однак, обравши поріг визначеної міри інтенсивності впливу, можна встановити кінцеве число зовнішніх систем $S_1, S_2, \ldots, S_k$, $k < m$, що знаходяться з даною системою КІ у взаємодії з інтенсивністю не меншою певного заданого порогу:

$$\text{ОКІ}=\{\Gamma, V, \Sigma, F\}, \quad (1)$$

де $\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3\}$ – внутрішні елементи системи КІ; $V = \{S_1, S_2, S_3\}$ – зовнішні системи; $\Sigma = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4, \Sigma_5, \Sigma_6, \Sigma_7, \Sigma_8, \Sigma_9\}$ – структурні зв'язки; F – функція перетворення параметрів і структури.

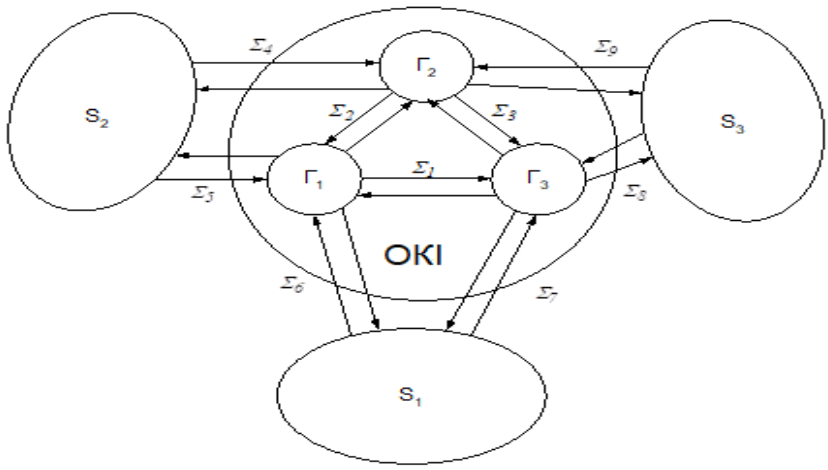


Рис. 1. Принципова схема системи КІ з трьох елементів як приклад простору

Однак крім того, що ці елементи КІ пов'язані між собою, на них впливають зовнішні об'єкти, а вони, в свою чергу, самі впливають на них. Це призводить до необхідності залучення поняття про навколишнє середовище як по відношенню до системи КІ, так і до підсистем, що входять до її складу.

Множину, що складається з усіх зовнішніх систем, які знаходяться в істотному зв'язку (у вищезазначеному розумінні) з даною системою КІ, назвемо безпосереднім зовнішнім середовищем і позначимо:

$$V = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}. \quad (2)$$

Множину зв'язків (відносин) елементів системи КІ між собою, а також елементів цієї системи з зовнішнім середовищем назвемо структурою системи КІ, яку можна представити у такому вигляді:

$$\Sigma = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_r\}, \quad (3)$$

де r – число всіх розглянутих зв'язків, що утворюють структуру системи КІ.

Зовнішнє середовище, склад і структура КІ можуть змінюватися з часом:

$$\begin{cases} \Gamma(t) = \{\Gamma_1(t), \Gamma_2(t), \dots, \Gamma_n(t)\} \\ V(t) = \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_k(t)\}. \\ \Sigma(t) = \{\Sigma_1(t), \Sigma_2(t), \dots, \Sigma_r(t)\} \end{cases} \quad (4)$$

Функцією КІ називається закон (сукупність правил) F, за яким в залежності від зовнішніх факторів $V(t)$ відбувається зміна в часі внутрішніх елементів $\Gamma(t)$ і структури $\Sigma(t)$ системи КІ.

Остаточно математичне визначення поняття КІ набуває змісту простору КІ(t) = $\{V(t), X(t), \Sigma(t), F\}$, який складається із ряду елементів систем $\Gamma(t)$, зовнішніх систем $V(t)$, сукупності зв'язків $\Sigma(t)$ та функції параметричних і структурних змін в $\Gamma(t)$ та $\Sigma(t)$.

Розглянемо безпеку КІ як стохастичну систему, яка може перебувати в таких станах (рисунок 2):

$S_{пб}$ – стан, за якого ОКІ здатен відвернути неприпустимі для його існування збитки власним ресурсом (ознака стану – «повна безпека»);

$S_{пн}$ – стан, за якого ОКІ не здатен відвернути неприпустимі для його існування потенційні збитки власним ресурсом (ознака стану – «потенційна небезпека»);

Sрн – стан, за якого ОКІ не здатен відвернути неприпустимі для його існування реальні збитки власним ресурсом (ознака стану – «реальна небезпека»).

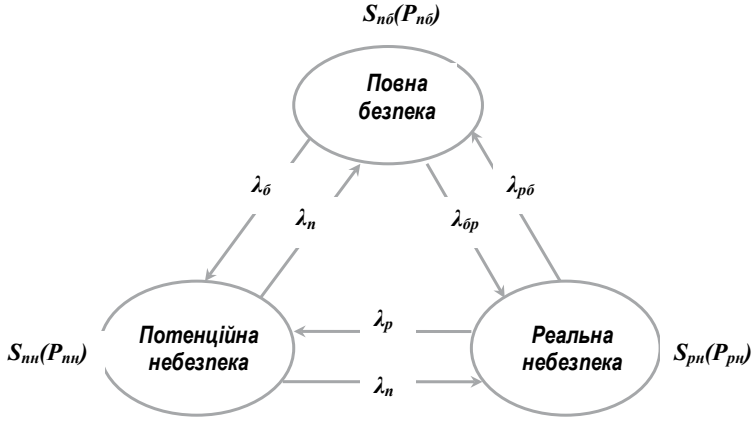


Рис. 2. Граф станів й переходів стохастичної системи КІ

Множина цих станів складає так звану «повну групу», для якої сума ймовірностей перебування КІ в кожному відповідному стані ($P_{пб}$, $P_{пн}$, $P_{рн}$) дорівнює одиниці.

У поточний момент часу КІ може перебувати в одному з перелічених станів, змінюючи їх випадковим чином як за «напрямком», так і за «моментом часу», за дією потоків випадкових подій:

– «виникнення реальної загрози» з темпом у часі $\lambda_{бп}$;
– «усунення реальної загрози» з темпом у часі $\lambda_{рб}$;
– «виникнення потенційної загрози» з темпом у часі $\lambda_{бп}$;
– «усунення потенційної загрози» з темпом у часі $\lambda_{пб}$;
– «перетворення потенційної загрози в реальну» з темпом у часі $\lambda_{пр}$;
– «перетворення реальної загрози в потенційну» з темпом у часі $\lambda_{рп}$.

Потоки подій із «загрозами виникнення НС» вважаються пуассонівським, причому інтенсивності подій виникнення (чи збільшення ймовірності виникнення) НС визначаються зовнішніми факторами, а події ліквідації (чи зменшення ймовірності виникнення) НС – внутрішніми факторами, пов'язаними з можливостями системи щодо середніх витрат часу τ на ліквідацію реальної (чи потенційної) НС:

$$\lambda_{рб} = (1/\tau_{рб}); \lambda_{пб} = (1/\tau_{пб}); \lambda_{рп} = (1/\tau_{рп}). \quad (5)$$

Тому КІ з розглянутим внутрішнім процесом зміни станів типу «ланцюг Маркова з неперервним часом» слід вважати стохастичною системою щодо її функціональної стійкості. Проаналізуємо дану стохастичну систему.

Користуючись графом станів і переходів (рисунок 2), складемо систему диференційних рівнянь (рівняння Колмогорова) для темпів (швидкості у часі) зміни ймовірностей станів (Sпб, Sпн, Sрн) за умови зміни станів з відомими темпами переходів (λ) для системи:

$$\begin{aligned}
\frac{dp_{пб}}{dt} &= -(\lambda_{бп} + \lambda_{бр}) \cdot p_{пб}(t) + \lambda_{пб} \cdot p_{п}(t) + \lambda_{рб} \cdot p_{рн}(t) \\
\frac{dp_{пн}}{dt} &= \lambda_{бп} \cdot p_{пб}(t) - (\lambda_{пб} + \lambda_{пр}) \cdot p_{пн}(t) + \lambda_{рп} \cdot p_{рн}(t) \quad . \\
\frac{dp_{пн}}{dt} &= \lambda_{бр} \cdot p_{пб}(t) + \lambda_{пр} \cdot p_{пн}(t) - (\lambda_{рб} + \lambda_{рп}) \cdot p_{рн}(t).
\end{aligned} \quad (6)$$

Запишемо умову стаціонарності процесу переходів (для t→∞), коли похідні за часом стають рівними нулю і поточні ймовірності станів досягають відповідних асимптотичних значень ($P_{пб}$, $P_{пн}$, $P_{рн}$), тобто:

$$\begin{aligned}
&(\lambda_{бп} + \lambda_{бр})P_{пб} + \lambda_{пб}P_{пн} + \lambda_{рб}P_{рн} = 0\\
&\lambda_{бп}P_{пб} - (\lambda_{пб} + \lambda_{пр})P_{пн} + \lambda_{рп}P_{рн} = 0\\
&\lambda_{бр}P_{пб} + \lambda_{пр}P_{пн} - (\lambda_{рб} + \lambda_{рп})P_{рн} = 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Дана система лінійних рівнянь є лінійно залежною, оскільки сума будь-яких двох з них дорівнює третьому. Тому виключимо з даної системи, наприклад, останнє (третє) рівняння, натомість додамо рівняння умови повноти цієї множини станів для їх ймовірності. У результаті цього отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned}
&(\lambda_{бп} + \lambda_{бр})P_{пб} + \lambda_{пб}P_{пн} + \lambda_{рб}P_{рн} = 0\\
&\lambda_{бп}P_{пб} - (\lambda_{пб} + \lambda_{пр})P_{пн} + \lambda_{рп}P_{рн} = 0\\
&P_б + P_п + P_р = 1
\end{aligned}. \tag{8}$$

Вирішуємо дану систему рівнянь (наприклад, методом Крамера).

Детермінант системи матиме такий вигляд:

$$\Delta = \begin{Vmatrix} -(\lambda_{бп} + \lambda_{бр}) & \lambda_{пб} & \lambda_{рб} \\ \lambda_{бп} & -(\lambda_{пб} + \lambda_{пр}) & \lambda_{рп} \\ 1 & 1 & 1 \end{Vmatrix}, \tag{9}$$

часткові детермінанти (для стовпчика «вільних» членів системи рівнянь) відповідно матимуть такий вигляд:

$$\Delta_б = \begin{Vmatrix} 0 & \lambda_{пб} & \lambda_{рб} \\ 0 & -(\lambda_{пб} + \lambda_{пр}) & \lambda_{рп} \\ 1 & 1 & 1 \end{Vmatrix}, \tag{10}$$

$$\Delta_п = \begin{Vmatrix} -(\lambda_{бп} + \lambda_{бр}) & 0 & \lambda_{рб} \\ \lambda_{бп} & 0 & \lambda_{рп} \\ 1 & 1 & 1 \end{Vmatrix}, \tag{11}$$

$$\Delta_р = \begin{Vmatrix} -(\lambda_{бп} + \lambda_{бр}) & \lambda_{пб} & 0 \\ \lambda_{бп} & -(\lambda_{пб} + \lambda_{пр}) & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{Vmatrix}. \tag{12}$$

Остаточно вирішенням цієї системи рівнянь є асимптотичні позначення ймовірності перебування системи КІ в кожному стані:

$$P_{пб} = (\Delta_б / \Delta),\ P_{пн} = (\Delta_п / \Delta),\ P_{рн} = (\Delta_б / \Delta). \tag{13}$$

Саме значення імовірності $P_{пб}$ слід вважати оцінкою живучості, а значення Ррн – оцінкою вразливості системи.

Якщо дана КІ має оперативно-стратегічну важливість AS, то завдяки повноті групи подій (станів безпеки та небезпеки КІ) математичне сподівання збитків, яких вдасться не допустити, становитиме:

$$VS = P_{бп} \times AS \tag{14}$$

а математичне сподівання нанесених збитків (потенціальний та реальний ризик):

$$WS_{пн} = P_{пн} \times AS;\ WS_{рн} = P_{рн} \times AS. \quad (15)$$

Висновки. У роботі вивчено та проаналізовано державну нормативну базу, а також дослідження вітчизняних вчених щодо сучасного стану вивчення питання оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури. Виявлено, що з метою оцінювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на таких об'єктах та недопущення аварійних станів в системі критичної інфраструктури в цілому доцільне проведення досліджень щодо створення максимально ефективної системи підтримки прийняття рішень щодо забезпечення техногенно-екологічної безпеки критичної інфраструктури. Авторами запропоновано підхід моделювання загроз методом системної динаміки, який і визначає у специфічній для нього інтерпретації об'єкт, мету, предмет та науковий апарат дослідження. Імплементація такого підходу дасть можливість забезпечити належну готовність відповідних органів та підрозділів ДСНС до реагування на надзвичайні ситуації та їх подальшу ефективну ліквідацію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17/stru#Stru (дата звернення 19.05.2022).

2. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту: Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 № 11 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text (дата звернення 01.10.2021).

3. Про національну безпеку України: Закон України від 21.06.2018 № 122 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text (дата звернення 19.05.2022).

4. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання: Закон України від 19.10.2000 № 2064-III // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text (дата звернення 18.05.2022).

5. Про боротьбу з тероризмом: Закон України від 20.03.2003 № 638-IV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/638-15#Text (дата звернення 18.05.2022).

6. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України: Закон України від 05.10.2017№ 2163-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text (дата звернення 19.05.2022).

7. Про схвалення Концепції створення державної системи захисту критичної інфраструктури: розпорядженням Кабінету Міністрів України від 6.12.2017 № 1009-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1009-2017-%D1%80#Text (дата звернення 17.05.2022).

8. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text (дата звернення 17.05.2022).

9. Бірюков Д. С., Кондратов С. І. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні : аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2012. 57 с. URL: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/zakhist-kritichnoi-infrastrukturi-problemi-ta-perspektivi

10. Іванюта С.П. Загрози критичній інфраструктурі та їх вплив на стан національної безпеки: Аналітична записка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://niss.gov.ua/sites/default/files/2017-03/KI_-Ivanyuta-3a331.pdf (дата звернення 17.02.2022).

11. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні: збірник матеріалів міжнародних експертних нарад / упоряд. Д. С. Бірюков, С.І. Кондратов; за заг. ред. О. М. Суходолі. К. : НІСД, 2015. 176 с.

12. Бобро Д. Г. Визначення критеріїв оцінки та загрози критичній інфраструктурі / Стратегічні пріоритети. Серія «Економіка». 2015. № 4 (37). С. 83-93. URL: http://sp.niss.gov.ua/ content/articles/files/10-1457002140.pdf. (дата звернення 17.02.2022)

13. Захист критичної інфраструктури в умовах надзвичайних ситуацій: Монографія / С. І. Азаров, В. Л. Сидоренко, С. А. Єременко, А. В. Пруський, А. М. Демків; за заг. ред. П. Б. Волянського. К., 2021. 375 с.

14. Євсєєв В. О. Можливі шляхи удосконалення захисту критичної інфраструктури України з урахуванням світового досвіду / Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2016. № 4 (49). С. 168-172.

15. Національні системи оцінювання ризиків і загроз: кращі світові практики, нові можливості для України: Аналітична доповідь / О. О. Резнікова, К. Є. Войтовський, А. В. Лепіхов; за заг. ред. О. О. Резнікової. НІСД, 2020. – 84 с.

16 Лисенко О. І., Чеканова І. В., Кутовий О. П., Нікітін В. А. Стратегії управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури в умовах невизначеності. Науковий вісник УкрНДІПБ. 2015. № 1(31). С. 134–139. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2015_1_18. (дата звернення: 18.02.2022).

17. Уряднікова І. В., Чумаченко С. М., Кармазін С. В., Тесленко О. М. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури. Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія : Техніка. 2015. Вип. 1. С. 206-218. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvamu_teh_2015_1_24. (дата звернення: 18.02.2022).

18. Чумаченко С. М., Троцько В. В. Оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури. Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. 2017. № 1. С. 41-47. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcpfs_2017_1_8. (дата звернення: 16.02.2022).

19. Чумаченко С. М., Кутовий О. П., Михайлова А.В. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури оборонно-промислового комплексу на сході України. Науковий журнал «Інженерія природокористування». 4 (18) 2020. С. 114-123. URL: DOI: https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).114-123. (дата звернення: 25.01.2022).

20. Чумаченко С. М., Парталян А. С., Туровець Ю. С. Система підтримки прийняття рішень з управління екологічними загрозами у районі ведення бойових дій // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. № 1 (83). Київ: ЦНДІ ЗС України, 2018. С. 88–95. (дата звернення: 30.01.2022).

21. Кодрик А. І., Яковлєв Є. О., Чумаченко С. М., Парталян А. С. Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля»). Математичне моделювання в економіці. Міжнародний науковий журнал. № 4 (13) 2018. С. 5-20. URL: DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve_2018_4_3. (дата звернення: 10.02.2022).

22. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А. Б. Качинський. К. : Ін-т пробл. нац. безпеки, 2004. – 472 с.

23. Воєнно-наукове забезпечення операцій військ (сил): Монографія / Г. М. Педченко, А. І. Невольніченко, В. І. Шарий. Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: 2011. 340 с.

24. Шарий В.І. Проблематика керування сферою воєнної безпеки / В. І. Шарий, А. І. Невольниченко. *Наука і оборона.* 2000. № 1. С. 16–21.

25. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. Інститут проблем національної безпеки: Монографія / Качинський А. Б. Національної академії СБУ. К. 2004. 472 с.

26. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах / Горелик В. А., Кононенко А. Ф. Радио и связь. М., 1982. 144 с.

REFERENCES:

1. Kodeks tsivilnogo zahistu Ukrayini: Zakon Ukrayini vid 02.10.2012 #5403-VI // Baza danih «Zakonodavstvo Ukrayini» / Verhovna Rada Ukrayini. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17 [Code of Civil Protection of Ukraine: Law of Ukraine dated 02.10.2012 # 5403-VI // Database «Legislation of Ukraine» / The Verkhovna Rada of Ukraine]. (data zvernennia: 28.08.2021) [in Ukrainian].

2. Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Edinu derzhavnu sistemu tsivilnogo zahistu: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayini vid 09.01.2014 # 11. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text. [On approval of the Regulation on the unified state system of civil protection: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 09.01.2014 № 11]. (data zvernennia: 01.10.2021) [in Ukrainian].

3. Zakon Ukrainy Pro natsionalnu bezpeku Ukrainy [On the national security of Ukraine] # 122 (2018) (Verkhovna Rada Ukrainy) Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19 (data zvernennia 18.05.2022) [in Ukrainian].

4. Zakon Ukrainy Pro fizychnyi zakhyst yadernykh ustanovok, yadernykh materialiv, radioaktyvnykh vidkhodiv, inshykh dzherel ionizuiuchoho vyprominiuvannia [About physical protection of nuclear installations, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation], # 2064-III (2000) (Verkhovna Rada Ukrainy). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text (data zvernennia 18.05.2022) [in Ukrainian].

5. Zakon Ukrainy Pro borotbu z teroryzmom [On the fight against terrorism], # 638-IV (2003) (Verkhovna Rada Ukrainy). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/638-15#Text (data zvernennia 18.05.2022) [in Ukrainian].

6. Zakon Ukrainy Pro osnovni zasady zabezpechennia kiberbezpeky Ukrainy [On the basic principles of cybersecurity in Ukraine], # 2163-VIII (2017) (Verkhovna Rada Ukrainy). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text (data zvernennia 19.05.2022) [in Ukrainian].

7. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy Pro skhvalennia Kontseptsii stvorennia derzhavnoi systemy zakhystu krytychnoi infrastruktury [About approval of the Concept of creation of the state system of protection of critical infrastructure], # 1009-p (2017) (Verkhovna Rada Ukrainy). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1009-2017-p#Text (data zvernennia 18.05.2022) [in Ukrainian]

8. Zakon Ukrainy Pro krytychnu infrastrukturu [About critical infrastructure], # 1882-IX (2021) (Verkhovna Rada Ukrainy). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text (data zvernennia 17.05.2022) [in Ukrainian]

9. Biriukov, D. S., & Kondratov, S. I. (2012). Zakhyst krytychnoi infrastruktury: problemy ta perspektyvy vprovadzhennia v Ukraini [Protection of critical infrastructure: problems and prospects for implementation in Ukraine]. Kyiv: NISD [in Ukrainian] Retrieved from; https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/zakhist-kritichnoi-infrastrukturi-problemi-ta-perspektivi (data zvernennia 17.02.2022).

10. Ivaniuta S.P. (2017) Zahrozy krytychnii infrastrukturi ta yikh vplyv na stan natsionalnoi bezpeky [Threats to critical infrastructure and their impact on national security]: Analitychna zapyska. [Elektronnyi resurs]. – Retrieved from: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2017-03/KI_-Ivanyuta-3a331.pdf [in Ukrainian].

11. Sukhodolia, O. M. (Ed.). (2015). Zelena knyha z pytan zakhystu krytychnoi infrastruktury v Ukraini: zbirnyk materialiv Mizhnarodnykh ekspertnykh narad [Green

Paper on Critical Infrastructure Protection in Ukraine: a collection of materials of International Expert Meetings]. Compilers D. S. Biriukov, S. I. Kondratov. Kyiv: NISD [in Ukrainian].

12. Bobro, D. H. (2015). Vyznachennia kryteriiv otsinky ta zahrozy krytychnii infrastrukturi [Defining criteria for assessing and threatening critical infrastructure]. Stratehichni priorytety. Seriia «Ekonomika», 4 (37), 83-93 [in Ukrainian].

13. Azarov, S. I., Sydorenko, V. L., Yeremenko, S. A., Pruskyi, A. V., & Demkiv, A. M. (2021). Zakhyst krytychnoi infrastruktury v umovakh nadzvychainykh sytuatsii [Protection of critical infrastructure in emergency situations]. Monohrafiia (P. B. Volianskoho, red.), 375. [in Ukrainian].

14. Yevsieiev, V. O. (2016). Mozhlyvi shliakhy udoskonalennia zakhystu krytychnoi infrastruktury Ukrainy z urakhuvanniam svitovoho dosvidu [Possible ways to improve the protection of critical infrastructure of Ukraine, taking into account world experience]. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl, 4 (49), 168–172. [in Ukrainian].

15. Reznikova, O. O., Voitovskyi, K. Y., & Lepikhov, A. V. (2020). Natsionalni systemy otsiniuvannia ryzykiv i zahroz: Krashchi svitovi praktyky, novi mozhlyvosti dlia Ukrainy [National risk and threat assessment systems: world best practices, new opportunities for Ukraine]: Analitychna dopovid (za zah. red. O. O. Reznikovoi). NISD. 84. [in Ukrainian].

16. Lysenko, O. I., Chekanova, I. V., Kutovyi, O. P., & Nikitin, V. A. Stratehii upravlinnia ryzykamy na obiektakh krytychnoi infrastruktury v umovakh nevyznachenosti [Risk management strategies at critical infrastructure facilities in conditions of uncertainty]. Naukovyi visnyk UkrNDIPB, 1(31), 134–139. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2015_1_18. [in Ukrainian].

17. Uriadnikova, I. V., Chumachenko, S. M., Karmazin, S. V., & Teslenko, O. M. (2015). Zastosuvannia ekspertno-analitychnykh metodiv dlia otsiniuvannia ryzykiv nadzvychainykh sytuatsii na obiektakh krytychnoi infrastruktury [Application of expert-analytical methods to assess the risks of emergencies at critical infrastructure]. Naukovyi visnyk Akademii munitsypalnoho upravlinnia. Seriia: Tekhnika., (1), 206–218. Retrieved from: URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvamu_teh_2015_1_24. [in Ukrainian].

18. Chumachenko, S. M., & Trotsko, V. V. (2017). Otsiniuvannia zahroz obiektam krytychnoi infrastruktury [Critical Infrastructure Threat Assessment]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka, 1, 41–47. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcpfs_2017_1_8. (data zvernennia: 16.02.2022) [in Ukrainian].

19. Chumachenko, S. M., Kutovyi, O. P., & Mykhailova, A. (2020). Zastosuvannia ekspertno-analitychnykh metodiv dlia otsiniuvannia zahroz obiektam krytychnoi infrastruktury oboronno-promyslovoho kompleksu na skhodi Ukrainy [Application of expert-analytical methods for threat assessment of critical infrastructure of the defense-industrial complex in eastern Ukraine]. Inzheneriia pryrodokorystuvannia, 4 (18), 114–123. Retrieved from: https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).114-123. (data zvernennia: 25.01.2022) [in Ukrainian].

20. Chumachenko, S. M., Partalian, A. S., & Turovets, Y. S. (2018). Systema pidtrymky pryiniattia rishen z upravlinnia ekolohichnymy zahrozamy u raioni vedennia boiovykh dii [Decision support system for environmental threat management in the area of hostilities]. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho, 1 (83), 88–95. [in Ukrainian].

21. Kodryk, A. I., Yakovliev, Y. O., Chumachenko, S. M., & Partalian, A. S. (2018). Metodychni pidkhody do heoinformatsiinoho analizu ekoloho-tekhnohennykh zahroz dlia vuhlepromyslovykh raioniv donbasu (na prykladi PAO «lysychanskvuhillia» ta DP «pervomaiskvuhillia») [Methodical approaches to geoinformation analysis of ecological and man-made threats for coal-mining areas of Donbass (on the example of

PJSC "Lysychansk Coal" and SE "Pervomaisk Coal")]. Matematychne modeliuvannia v ekonomitsi. Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal, 4 (13), 5–20. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mmve_2018_4_3 [in Ukrainian].

22. Kachynskyi, A. B. (2004). Bezpeka, zahrozy i ryzyk: Naukovi kontseptsii ta matematychni metody [Security, threats and risks: scientific concepts and mathematical methods]. Kyiv: In-t probl. nats. bezpeky.472 [in Ukrainian].

23. Pedchenko, H. M., A. I. Nevolnichenko, A. I., & Sharyi, V. I. (2011). Voienno-naukove zabezpechennia operatsii viisk (syl) [Military-scientific support of operations of troops (forces)]. Monohrafiia. Viiskovyi instytut Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. 340 [in Ukrainian].

24. Sharyi, V. I., & Nevolnichenko, A. I. (2000). Problematyka keruvannia sferoiu voiennoi bezpeky [Problems of military security management]. Nauka i oborona, 1, 16–21. [in Ukrainian].

25. Kachynskyi A. B. (2004). Bezpeka, zahrozy i ryzyk: Naukovi kontseptsii ta matematychni metody [Security, threats and risks: scientific concepts and mathematical methods.]. Monohrafiia Instytut problem natsionalnoi bezpeky Natsionalnoi akademii SBU. [in Ukrainian].

26. Gorelik, V. A., & Kononenko, A. F. (1982). Teoretiko-igrovye modeli prinyatiya reshenij v ekologo-ekonomicheskih sistemah [Game-Theoretic Decision-Making Models in Ecological-Economic Systems] . Radio I Svyaz, 144. [in Russian].

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 654.672:632
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.11

ТЕХНОЛОГІЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРОШКІВ ТРОПІЧНИХ РОСЛИН

Антоненко А. В. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу
ПВНЗ «Київський університет культури»
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Бровенко Т. В. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу
Київського національного університету культури і мистецтв
ORCID ID: 0000-0003-1552-2103

Василенко О. В. *– кандидат педагогічних наук,*
доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу
ПВНЗ «Київський університет культури»
ORCID ID: 0000-0003-4097-7476

Стукальська Н. М. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри технології ресторанної та аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0001-6590-7170

Криворучко М. Ю. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри дизайну та інжинірингу
Державного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-7378-1050

Толок Г. А. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри технології м'ясних рибних та морепродуктів
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-2971-1645

У статті наведено технологію виробництва, рецептурний склад печива «Гармонія» з бананови порошком. Обґрунтовано доцільність використання у розробленій технології біологічно-активної сировини. Отримано комплекс даних, що характеризує якість розробленої страви, доведено її високу харчову цінність. На підставі досліджень органолептичних показників розроблених зразків визначено раціональну концентрацію дієтичних добавок у рецептурі печива, що дає розробленій харчовій продукції покращення смакових властивостей та консистенції порівняно з контролем за рахунок використання біологічно-активної сировини. Розроблена технологію печива «Гармонія» з бананови порошком має підвищений вміст білків, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин у порівнянні з традиційною технологією. Експериментально підтверджено оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі розробленого борошняно кондитерського виробу. За органолептичними показниками отримане печиво відповідає за якістю встановленими нормам. Запропонований спосіб виробництва печива «Гармонія» з бананови порошком дозволяє отримати вироби вищої харчової цінності у порівнянні з традиційної технології. Якість готової кулінарної продукції характеризують органолептичні, фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні показники, а для однозначної оцінки якості використовували комплексний показник якості, який становить для лабораторного і дослідного зразків 0,4 і 5 одиниць відповідно. Соціальний ефект впровадження розробленого печива «Гармонія» з бананови порошком полягає у розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенційних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення.

Ключові слова: *харчова цінність, печиво, харчова технологія, бананови порошок, вітаміни, мінеральні речовини.*

Antonenko A. V., Brovenko T. V., Vasylenko O. V., Stukalska N. M., Kryvoruchko M. Yu., Tolok G. A. Technology of confectionery using powders of tropical plants

The article presents the production technology, recipe composition of cookies "Harmony" with banana powder. The expediency of using biologically active raw materials in the developed technology is substantiated. A set of data characterizing the quality of the developed dish is obtained, its high nutritional value is proved. Based on studies of organoleptic parameters of the developed samples, the rational concentration of dietary supplements in the cookie recipe was determined, which gives the developed food products improved taste and consistency compared to control through the use of biologically active raw materials. Developed technology of cookies "Harmony" with banana powder has a high content of protein, dietary fiber, vitamins and minerals compared to traditional technology. The optimal ratio of components in the recipe of the developed flour confectionery product has been experimentally confirmed. According to organoleptic indicators, the obtained cookies meet the quality standards. The proposed method of production of cookies "Harmony" with banana powder allows you to get products of higher nutritional value compared to traditional technology. The quality of finished culinary products is characterized by organoleptic, physicochemical, biochemical and microbiological indicators, and for unambiguous quality assessment used a comprehensive quality indicator, which is for laboratory and experimental samples of 0.4 and 5 units, respectively. The social effect of the implementation of the developed cookies "Harmony" with banana powder is to expand the range of foods for adults and children with high content of essential nutrients, improved consumer properties, which will help maintain public health, protect the body from adverse environmental effects. Developed culinary products can be recommended for nutrition in the daily diets of people working in heavy industry, living in environmentally contaminated areas and all segments of the population.

Key words: *nutritional value, cookies, food technology, banana powder, vitamins, minerals.*

Вступ. На сучасному ринку ресторанних послуг присутня велика конкуренція між виробниками даних послуг і продукції. Тому вміле використання рослинної сировини, у т.ч. і сировини з тропічних рослин, для поліпшення якості та поживних властивостей борошняних кондитерських виробів, є запорукою підвищення конкурентоспроможності продукції, яку виробляє підприємство. Використання сировини тропічних рослин, зокрема бананового порошку, поліпшує хімічний склад і біологічну цінність виробів і знижує зависоку калорійність даної групи кондитерських виробів [1-5].

Постановка проблеми. Ринкові відносини вимагають від виробників продуктів харчування впровадження широкого асортименту конкурентноздатної продукції з високими споживчими властивостями. Щодо борошняних виробів ці задачі можна вирішити шляхом використання харчових добавок, які сприяють покращенню органолептичних властивостей виробів, підвищенню їхньої біологічної цінності, збільшенню термінів зберігання і т.д. На сьогодні існує величезний арсенал харчових добавок, однак більшість із них синтетичного походження, внаслідок чого використання їх небажане, особливо для дитячого і дієтичного харчування.

У зв'язку з цим для одержання борошняних виробів високої якості актуальним є використання добавок із різними функціями з вітчизняної рослинної сировини. До такої сировини належать виноградні вичавки – відходи виробництва соків і вин, які щорічно накопичуються у великих кількостях при переробці винограду. Відомо, що у винограді містяться досить сильні антиоксиданти й інші біологічно активні речовини [6-9].

Сучасними дослідниками доведено поліфункціональність кріапорошків із виноградних вичавок, що дозволяє вирішити питання одержання борошняних виробів різного кольору, смаку, аромату, поліпшення структурно-механічних властивостей, подовження термінів зберігання і підвищення біологічної цінності. Перспективним напрямком при розробці борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності є використання борошняних композитних сумішей із зернобобових і олійних культур. Суміші складаються з різних компонентів, кількість і співвідношення яких залежать від їхнього призначення, що дозволяє створити нові види продуктів на основі взаємного збагачення їхніх складових [10-13].

Для підвищення харчової цінності борошняних виробів (печиво, кекси, пряники) використовують паростки насіння злакових культур (ячменю, вівса, пшениці), борошно ячмінного солоду, солодові екстракти. За даними літератури, у нових, збагачених нутовою добавкою, кондитерських виробах коефіцієнт засвоювання білків вищий на 5,5% у порівнянні з контрольними зразками [14-16].

Мета дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування та розроблення технології технології борошняних кондитерських виробів із використанням сировини тропічних рослин.

Об'єктом дослідження є борошняні кондитерські вироби з використанням бананового порошку.

Предметом дослідження є технологія виробництва та оцінка якості борошняних кондитерських виробів із сировиною тропічних рослин.

Методи дослідження: органолептичні, фізико-хімічні, математична обробка результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукове обґрунтування та розроблення конкурентоспроможної технології продукції складного сировинного складу є актуальним завданням, розв'язання якого дозволить розширити асортимент комбінованих страв з підвищеною харчовою і біологічною цінністю та одержати продукцію з заданими функціональними властивостями.

Значний внесок у вирішення фундаментальних питань створення харчових продуктів складного сировинного складу як засобу профілактики та ліквідації дефіциту мікронутрієнтів надали дослідження таких вітчизняних та зарубіжних вчених: О.О. Грінченко, А.Б. Горальчука, А.М. Дорохович, І.Ю. Жигаленко, А.В. Зіолковської, П.О. Карпенка, М.Б. Колесникової, В.Н. Корзуна, М.В. Кравченка, Г.М. Лисюк, Л.П. Малюк, Л.М. Мостової, Н.Я. Орлової, М.І. Пересічного, П.П. Пивоварова, Н.В. Притульської, Г.Б. Рудавської, M.P. Ennis, J.C.F. Murrey, G.O. Phillips, W.C. Weling, P.A. Williams та ін. [17-20].

Виклад основного матеріалу дослідження. У статті розглянуто ананасовий та банановий порошки, використання яких у виробництві дозволяє здешевити вироби, зробити їх смачними й корисними. Внаслідок розширення асортименту повноцінних продуктів високої якості на основі рослинної сировини стало можливим збільшити виробництво продукції, збагаченої дефіцитними нутрієнтами та зекономити дорогу сировину. Найліпший спосіб такої економії – це і є використання у виробництві порошків із сировини певних (у даному випадку тропічних) рослин із повним збереженням основних властивостей. Дослідження фізико-хімічного складу фруктових порошків із бананів показали, що вони містять значну кількість пектинів (вміст пектинів в ананасовому порошку – 3,6%, у бананову порошку – 5,5%). Як відомо, пектини є поверхнево-активними речовинами і володіють яскраво вираженими емульгуючими та піноутворюючими властивостями. Вони дуже гігроскопічні. В'язкість розчинів пектинових речовин визначається концентрацією пектинів, довжиною молекулярних ланцюгів, ступенем етерифікації, присутністю електролітів, температурою. Під час розчинення пектини набухають і утворюють гелі. Утворення гелів обумовлено міжмолекулярною асоціацією, цьому процесу сприяє наявність сахарози та органічних кислот, які порушують сольвацію полімерних ланцюгів. Хімічний склад бананового порошку наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад бананового порошку у 100 г продукту

Показники	Кількість
Білки, г	3.89
Жири, г	1.81
Вуглеводи, г	78.38
Моно-дисахариди, г	47.3
Попіл, г	3.02
Насичені жирні кислоти, г	0.698
Клітковина, г	9.9
Мінеральні речовини, мг	
Na	3
K	1491
Ca	22
Mg	108
P	74
Селен (мкг)	3.9
Zn	0.61
Fe	1.15
Вітаміни, мг	
b-каротин	0.101
B_1	0.18
B_2	0.24
B_6	0.44
B_9 (мкг)	14
PP	2.8
Холін	19.6
C	7
A (мкг)	12

Таблиця 2

Органолептична оцінка пісочного печива із додаванням бананового порошку

Моделі пісочних виробів	Оцінка за показниками якості					Загальна оцінка
	Зовнішній вигляд	Смак	Запах	Колір	Консистенція	
	Коефіцієнт вагомості					
	2	3	2	1	2	
Контрольний зразок	4,48	4,60	4,59	4,45	4,6	4,54
Дослід №1	4,45	4,32	4,45	4,40	4,30	4,30
Дослід №2	4,47	4,53	4,51	4,42	4,32	4,45
Дослід №3	4,06	3,85	4,16	3,21	3,05	3,66

Таблиця 3

Порівняльна характеристика контрольного та дослідного зразків печива пісочного «Гармонія» та печива пісочного «Гармонія» з бананови порошком на 100 гр. виробу

Показники	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Різниця, +/-	Відхилення, %
Білки, г	4.568	4.64	+0.072	101.5
Жири, г	9.76	8.8	-0.96	90.1
Вуглеводи, г	22.88	24.44	+2.16	106.8
Клітковина, г	0.03	0.3	+0.027	1000.0
Лактоза, г	0.28	0.28	-	-
Моно і – дисахариди, г	10.47	11.4	+0.93	108.8
Крохмаль та полісахариди, г	21.9	21.9	-	-
Зола, г	0.3	0.3	-	-
Мінеральні речовини				
K, мг	54.95	84.77	+29.82	154.2
Ca, мг	20.17	20.61	+0.44	102.1
Mg, мг	7.05	9.21	+2.16	130.6
P, мг	51.68	53.16	+1.48	102.8
Fe, мг	0.644	-	-	-
Na, мг	13.8	13.86	+0.06	100.4
Se, мг	-	0.078	+0.078	100.0
Zn, мг	-	0.012	+0.012	100.0
Вітаміни				
Каротин, мг	0.039	0.04	+0.001	102.5
A, мг	0.08	0.32	+0.24	400
B_1, мг	0.0577	0.06	0.0023	103.9
B_2, мг	0.0783	0.083	+0.004	106.0
B_6, мг	-	0.008	+0.008	100.0
Холін, мг	-	0.39	+0.39	100.0
PP, мг	0.393	0.393	-	100.0
C, мг	0.056	0.196	+0.14	350.0

Виходячи з таблиці 1, робимо висновок, що банановий порошок містить значну кількість мінеральних речовин та вітамінів, до його складу входить клітковина. Для широкого використання, затверджені технічні умови ТУ 9164-016-00233358-05 «Порошок банановий» та технологічна інструкція.

Таблиця 4

Результат розрахунку комплексного показника якості

Показник	Коефіцієнт вагомості, m, од.	Печиво пісочне «Гармонія» (контроль)	Печиво пісочне «Гармонія» (дослід)
Органолептична оцінка, бали	0,15	4,54	4,45
Клітковина	0,2	0.03	0.3
Мінеральні речовини, мг:			
Магній	0,1	7.05	9.21
Залізо	0,1	0,8	1,2
Калій	0,1	54.95	84.77
Вітамін А, мг	0,1	0.08	0.32
Вітамін С, мг	0,15	0.056	0.196
Сума	1		

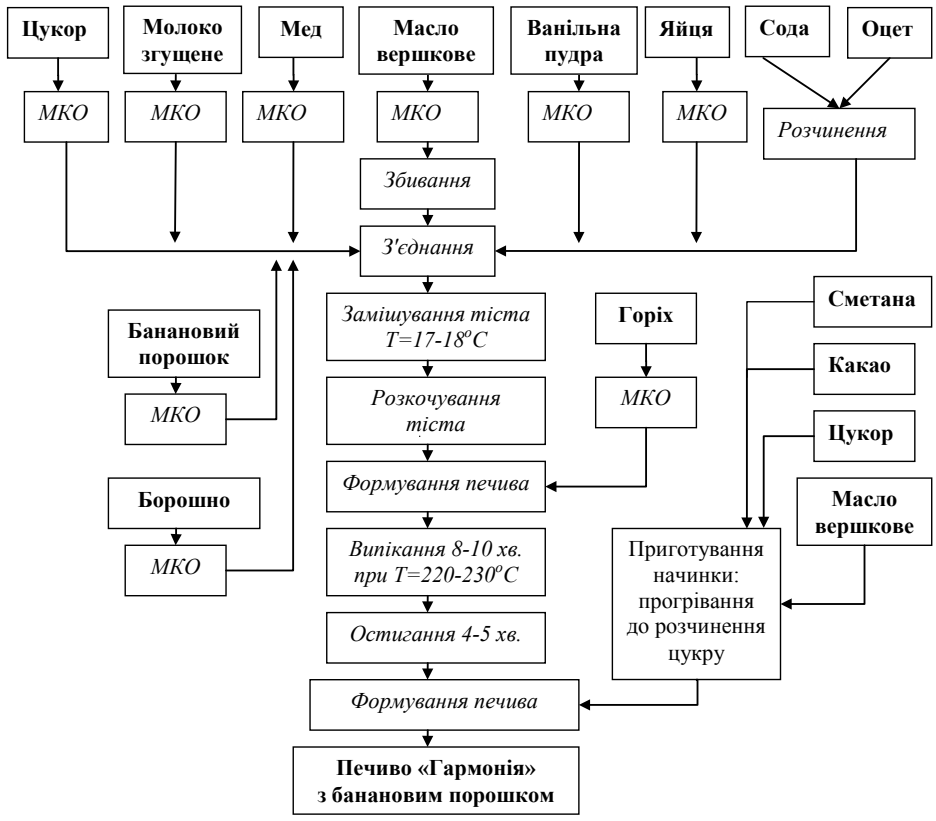


Рис. 1. Технологічна схема приготування пісочного печива «Гармонія» з бананови порошком

Наступним етапом роботи є розроблення технології приготування пісочного печива «Гармонія» з додаванням бананового порошку. Добавку доцільно вводити до страви за рахунок вилучення деякої кількості меланжу та цукру.

Проведено дослідження виготовлення пісочного печива «Гармонія», в якому була заміна певної частини меланжу та цукру на банановий порошок:

- дослід 1 – цукор і меланж – 8% – замінювали на 8% бананового порошку;
- дослід 2 – цукор і меланж – 9% – замінювали на 9% бананового порошку;
- дослід 3 – цукор і меланж – 10% – замінювали на 10% бананового порошку.

З метою визначення раціональної кількості добавки бананового порошку досліджено його вплив на органолептичні показники готового виробу за 5-бальною шкалою (таблиця 2).

Як видно з таблиці 2, найвищу оцінку отримав дослід 2, в якому замінювали 9% меланжу й цукру на банановий порошок, а найменшу дослід 3, де замінювали 10% меланжу і цукру на банановий порошок. При додаванні бананового порошку до маси тіста виріб – пісочне печиво має хороший зовнішній вигляд, зберігає свою форму, колір, смак і запах, які майже відповідають контрольному зразку.

Визначивши оптимальну кількість добавки, складаємо технологічну схему приготування виробу – печива пісочного «Гармонія».

Запропонований спосіб виробництва пісочного печива «Гармонія» з банановим порошком дозволяє отримати вироби вищої харчової цінності у порівнянні з традиційної технології. Аналіз хімічного складу контрольного й дослідного зразків наведено в таблиці 3.

Виходячи з таблиці 3, бачимо позитивний вплив використання біологічно активної добавки – бананового порошку. Збільшилася кількість мінеральних речовин: К – збільшився в 15,4 разів, Са – 10,2 разів, Mg – 13 разів, Р – 10,2 разів, Na – 10 разів, Se – 10 разів, Zn – 10 разів; збільшилася кількість необхідної для організму клітковини в 100 разів; також збільшилася вся група вітамінів, яка входить до хімічного складу пісочного печива «Гармонія», а саме: вітамін А – 40 разів, В1 – 10,3 разів, В2 – 10,6 разів, С – 35 разів.

Якість готової кулінарної продукції характеризують органолептичні, фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні показники, а для однозначної оцінки якості використовували комплексний показник якості (табл. 4), який становить для лабораторного і дослідного зразків 0,4 і 5 одиниць відповідно (рис. 2).

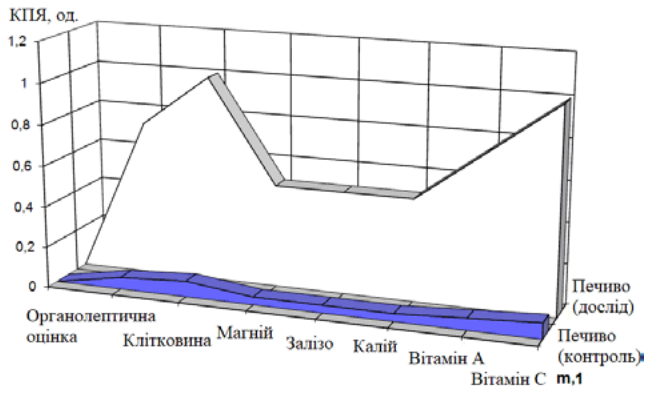


Рис. 2. Комплексний показник якості контрольного та дослідного зразків пісочного печива «Гармонія»

Проведені експериментальні дослідження свідчать про доцільність використання фруктових порошків із бананів під час виробництва виробів із пісочного тіста. Збагачення пісочних виробів порошками дозволяє знизити енергетичну цінність виробів, покращити мінеральний і вітамінний склад, збагатити вироби харчовими волокнами, у тому числі пектинами. Використання запропонованих порошків дозволяє значно розширити асортимент борошняних кондитерських виробів оздоровчого призначення. Пісочне печиво з використанням фруктових порошків можна буде реалізовувати не тільки в закладах ресторанного господарства, але й в магазинах для загального вжитку споживачів.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що розроблене печиво має підвищений вміст білків, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин у порівнянні з традиційною технологією. Експериментально підтверджено оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі розробленого борошняного кондитерського виробу «Гармонія». За органолептичними показниками отримане печиво відповідає за якістю встановленими нормам. Соціальний ефект впровадження розробленого печива з бананoвим порошком полягає у розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенційних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

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: КУПРИЕНКО СВ. 2016. 197 с.

3. Корзун В. Н., Гаркуша С. Л. Заходи профілактики та лікування метаболічного синдрому у населення. *Довкілля та здоров'я.* 2016. №. 1. С. 9–13

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. Русавська В.А. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції. Київ: Видавництво Ліра. 2018. 420с.

7. Преображенский А.П. Уровень развития техники и технологии в XXI веке. Одеса: КУПРИЕНКО С.В. 2019. 227с.

8. Гамаюнова В.В. Инновационные технологии в жизни современного человека. Одесса: КУПРИЕНКО СВ. 2020. 209с.

9. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под. ред. член-корр. МАИ, И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.

10. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Издательство: «Экономика», Москва, 1982. 495 с.

11. Мазаракі А.А. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.

12. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*: наук. журнал, 2018. №2. С. 91-94.

13. 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. №4. С. 77-82.

14. 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.

15. Михайлик В.С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. *Харчова наука і технологія*: науково-виробничий журнал. 2016. № 1. С. 72–77.

16. Кравченко М.Ф., Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Товари і ринки*: міжнародний науково-практичний журнал. 2012. № 1. С. 82–88.

17. 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.

18. Журавська А.А. Новітні технології кондитерських виробів підвищеної харчової цінності. *Научные труды SWorld*. 2013. № 1. С. 73–77.

19. Довга О.О., Ліфіренко О.С. Удосконалення технології борошняних кулінарних виробів для харчування дітей. *Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание.* 2016. № 3. С. 4–11.

20. Кравченко М.Ф. Наукове обгрунтування і розроблення фруктових систем як основи для солодких соусів. Міжнар. наук.-практ. журн. *«Товари і ринки»*. 2009. № 2. С. 76–82.

REFERENCES:

1. Mazaraki A.A. (2012). Tekhnologiya harchovih produktiv funkcional'nogo priznachennya. Kiïv: KNTEU. 1116 s. [in Ukrainian].

2. L'vovich I.YA. (2016) Perspektivnye trendy razvitiya nauki: tekhnika i tekhnologii. Odesa: KUPRIENKO SV. 197 s. [in Ukrainian].

3. Korzun V. N., Harkusha S. L. (2016). Zakhody profilaktyky ta likuvannia metabolichnoho syndromu u naselennia. Dovkillia ta zdorovia. №.1. 9–13

4. Cherevko O.I. (2017). Innovacijni tekhnologiï harchovoï produkciï funkcional'nogo priznachennya. Harkiv: HDUHT. 591 s. [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 s. [in United Kingdom].

6. Rusavs'ka V.A. (2018). Teoretiko-praktichni pidhodi do efektivnogo funkcionuvannya rinku gotel'no-restorannih poslug: stan, problemi, tendenciï. Kiïv: Vidavnictvo Lira. 420 s. [in Ukrainian].

7. Preobrazhenskij A.P. (2019) Uroven' razvitiya tekhniki i tekhnologii v HKHI veke. Odesa: KUPRIENKO S.V. 227 s. [in Ukrainian].

8. Gamayunova V.V. (2020) Innovacionnye tekhnologii v zhizni sovremennogo cheloveka. Odessa: KUPRIENKO SV. 209 s. [in Ukrainian].

9. Skurykhyn Y.M. (2002). Khymycheskyi sostav rossyiskykh pyshchevыkh produktov: Spravochnyk. M:DeLy prynt. 236 s.

10. Sbornyk retseptur bliud y kulynarnыkh yzdelyi dlia predpryiatyi obshchestvennoho pytanyia. (1982). «Ekonomyka». 495 s.

11. Mazaraki A.A. (2013). Zbirnyk retseptur kulinarnoi produktsii i napoiv funktsionalnoho pryznachennia. Kyiv : Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t. 772 s.

12. Brovenko T. (2018). Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadriv kultury i mystetstv: nauk. zhurnal. № 2, 91-94.

13. Zemlina U.V. (2019) Tekhnologiya boroshnyanih strav na osnovi netradicijnoї sirovini. Naukovij zhurnal «Vcheni zapiski» TNU im.V.I.Vernads'kogo. Seriya «Tekhnichni nauki». Tom 30 (69). № 4. 77-82

14. Kryvoruchko M.Iu. (2012). Strukturno-mekhanichni vlastyvosti prisnoho tista z boroshna proroshchenoho zerna pshenytsi. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. «Tovary i rynky». № 1. 82–88.

15. Mykhailyk V.S. (2016). Tekhnolohiia ta yakist pechyva zi shrotamy oliinykh kultur. Kharchova nauka i tekhnolohiia: naukovo-vyrobnychyi zhurnal. № 1. 72–77.

16. Kravchenko M.F., Kryvoruchko M.Iu. (2012). Strukturno-mekhanichni vlastyvosti prisnoho tista z boroshna proroshchenoho zerna pshenytsi. Tovary i rynky: mizhnarodnyi naukovo-praktychnyi zhurnal. № 1. 82–88.

17. Antonenko A.V. (2014). Boroshno z proroshchenoho zerna vivsa yak osnova dlia boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv. Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. № 46 (1). 149–153.

18. Zhuravska A.A. (2013). Novitni tekhnolohii kondyterskykh vyrobiv pidvyshchenoi kharchovoi tsinnosti. Nauchnыe trudы SWorld. № 1. 73–77.

19. Dovha O.O., Lifirenko O.S. (2016). Udoskonalennia tekhnolohii boroshnianykh kulinarnykh vyrobiv dlia kharchuvannia ditei. Nauchnыi vzghliad v budushchee: mezhdunarodnoe peryodycheskoe nauchnoe yzdanye. № 3. 4–11.

20. Kravchenko M.F. (2009). Naukove obhruntuvannia i rozroblennia fruktovykh system yak osnovy dlia solodkykh sousiv. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. «Tovary i rynky». № 2. 76–82.

УДК 637.03
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.12

ВИКОРИСТАННЯ КЕФІРУ ТА МАСЛА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ІННОВАЦІЙНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО СИРУ

Брикова Т. М. *– кандидат технічних наук, доцент*
Чернівецький торговельно-економічний інститут
Державного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-8842-9028

Населення спокон віків потребувало якісних продуктів харчування – це найбільш потребуюча уваги та заходів вдосконалення соціальна та сільськогосподарська проблема. Молочна галузь господарства, у тому числі сироваріння, – одна із ключових у продуктовій ланці економіки держави.

У переліку харчових продуктів чільне місце займає саме сир завдяки своїй енергетичній та харчовій поживності, його склад багатий на повноцінні білки та молочний жир, в ньому міститься значна кількість вітамінів та солей корисних мінералів.

Розвиток споживчого молочного ринку необхідно постійно удосконалювати існуючими промисловими методами виробництва із врахуваннямнових інноваційних технологічних рішень, які б дали змогу у швидкому майбутньому знівелювати низькоякісну сировину, так як це і досі являється ключовою проблемою у вітчизняному сироварінні.

На сьогодні економіка нашої держави докладає усіх зусиль на підвищення якості та безпечності виробництва сирів, акцентує увагу на розширенні асортименту кисломолочної продукції. Саме тому значна увага приділяється виготовленню кисломолочногосиру на основі кефіру та масла – таке інноваційно технологічне рішення економічно доцільне, так як дає змогу збільшити асортимент продукції та водночас зменшити відходи у процесі переробки продукції завдяки новим ресурсозберігаючим технологіям, що є запорукою підвищення ефективності роботи промисловості.

При виробництві кисломолочних сирів на основі кефіру або солодковершкового масла застосовується вкрай складний технологічний процес, під час якого навіть незначні зміни одного із факторів спричиняють зміну динаміки перетворень сирної маси – фізико-хімічних, біохімічних та мікробіологічних.

Зважаючи на проблему дефіциту молока для виробництва сиру кефір та масло єосновними складовими інноваційних технологій виготовлення високоякісної безпечної продукції, так як термін придатності молока є на порядок нижчим у порівнянні з кефіром та маслом.Постійні напрацювання у підвищенні якості сировини та інноваційні вектори технологічного процесу дозволяють вийти на новий рівень обсягів виробництва сирів та збільшити на полицях вітчизняних та зарубіжних маркетів асортимент молочної продукції, зокрема розширити видовий склад кисломолочних сирів.

Запровадження інноваційних технологій у виробничі процеси молочної галузі із застосуванням кисломолочних продуктів при виготовленні твердих молочних сирів дасть зможу осягнути новий щабель світової не лише молочної, але й харчової галузі в цілому.

Ключові слова: *молочна галузь, кисломолочний сир, інноваційні технології, кисломолочні продукти.*

Brykova T. M. Manufacturing the innovative sour milk cheese using kefir (yoghurt) and butter

From time immemorial, the population has needed to get a quality food – it`s the most in need of attention and measures to improve the social and also an agricultural problem. The dairy industry, including cheese-produing, is one of the key products in the food sector of the economy of our country.

In the list of food products, cheese occupies a prominent place due to its energy and nutritional content, the composition of the cheese is rich by proteins and milk fat, it contains a significant amount of vitamins and minerals salts.

In this time the development of the consumer dairy market needs to be constantly improved by existing industrial production methods, taking into new innovative technological solutions that would allow to eliminate low-quality raw materials in a few yaers, because this problem in domestic cheese is still one of a main aspect.

In these days, the economy of our country is making every effort to improve the quality and safety of cheese industry. It focuses on expanding the range of dairy products. That is why much attention is focused at the manufacturing the sour milk cheese from kefir (yoghurt) and butter as an innovative technological solution which is economically feasible, because it allows to increase the range of products and to reduce waste in processing due to new resource-saving technologies.

The production of sour milk cheeses which is based on kefir or sweet butter, includes very hard technological process complex, even minor changes in one of the factors cause changes in the dynamics of cheese mass transformations such as physicochemical, biochemical and microbiological.

Due to the problem of milk shortage in cheese manufacturing, such products as kefir (yoghurt) and butter are the main components in innovative technologies for the production of high quality safe products. It is because the expiration date of milk is lower in compare to kefir (yoghurt) and butter. Constant developments in improving the quality of raw materials and innovative vectors of the technological process allow us to reach a new level of sour milk cheese production and to increase the range of dairy products on the shelves of country and foreign markets. It takes us possibility to expand the species composition of sour milk cheese.

The introduction of innovative technologies in the production processes of the dairy industry with the use of fermented milk products in the manufacture of sour milk cheese will allow us to reach in particular a new level of dairy and the food industry in general too.

Key words: *dairy industry, sour milk cheese, innovative technologies, sour milk products.*

Постановка проблеми. Із зростанням обсягів промислового виробництва натуральних кисломолочних та твердихсирів актуальним постало питання забезпечення споживчих потребнаселення високоякісною табезпечноюдля споживачівпродукцією.

Основним завданням конкурентоспроможної вітчизняної харчової промисловостієзапровадження інноваційних технологій, розробка рецептур нових функціональних молочних продуктів із традиційних видів сировини – кефіру, масла, вторинної молочної сировини (знежирене молоко, маслянка тощо). Це дозволить удосконалити існуючі на сьогодні технологічні процеси, зменшити ресурсозатратність та підвищити харчову й біологічну цінність молочних продуктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Кисломолочні продукти поділяють на продукти двох типів бродіння:

– молочнокислого (кисле молоко, сметана, сир кисломолочний тощо);

– змішаного – спиртового та молочного (кефір, айран, кумис, колотуша, ацидофілін).

При виробництві продуктів за процесу молочнокислого бродіння утворюється лактатна кислота. Під впливом лактатної кислоти відбувається коагуляція казеїну, що сприяє кращому засвоєнню організмом харчового продукту. Під час спиртового бродіння з лактози також утворюються такі сполуки як етиловий спирт, вуглекислий газ, леткі жирні кислоти – за їх наявності значним чином підвищуються органолептичні властивості продукту, а також його засвоєння організмом. Вжиті людиною кисломолочні продукти засвоюються упродовж години на 80–91% [1].

Сир – це білковий кисломолочний продукт, який виготовляється сквашуванням пастеризованого нормалізованого цільного або знежиреного молока (допускається змішування з пахтою) з подальшим видаленням зі згустку частини сироватки та опресовуванням білкової маси.

У нежирному кисломолочному сирі білка значно більше (до 18%), ніж у м’ясі, рибі та інших продуктах. Кількість засвоюваного кальцію у сирі становить 126 мг. Співвідношення кальцію та фосфору у сирі найбільш сприятливе для засвоєння цих речовин. З підвищенням масової частки жиру сиру в ньому збільшується вміст β-каротину, вітамінів B_1 та B_2.Жирність кисломолочної сирної маси на

вміст вітаміну С не впливає та складає 0,5 мг на 100 г готового продукту [2; 3; 4]. Поряд із білками для нормальної життєдіяльності організму необхідні й мінеральні речовини, найважливіші з яких –сполуки кальцію та фосфору, що містяться у кисломолочному сирі у значній кількості [5].

В останні роки у всьому світі спостерігається тенденція до використання різних інноваційних методів сироваріння, у тому числі додавання молочнокислих бактеріальних культурз метою моделювання їх сенсорних характеристик. Спершу додаткові культури почали використовувати в Європі з метою прискорення дозрівання сирів та підвищення їхньої якості. Як додаткові культури в основному використовуються мікроорганізми *Lactobacillus helveticus, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus plantarum* і *Lactobacillus sakei* [6; 7].

Упродовж останніх років вченими світу проводяться роботи із створення білкових добавок, які б сприяли збільшенню виходу сирних продуктів. На сьогодні вже розроблено ряд нових комплексних добавок, які дають змогу забезпечити необхідний розвиток технологічних властивостей молочної суміші та ефективне підвищення виходу продукту [8, 9].

Харчова та енергетична цінність кисломолочного сиру різної жирності представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Харчова та енергетична цінність сиру залежно від жирності

Кисломолочний сир	Вміст основних поживних речовин в 100 г продукту				Енергетична цінність, ккал
	Вода	Білки	Жири	Вуглеводи	
18% жирності	63,2	14,0	18	2,8	232
9% жирності	70,3	16,7	9	2,0	159
Нежирний	77,2	18,0	2	1,8	88

Незамінна амінокислота метіонін та органічна сполука холін, які містяться у складі кисломолочного сиру, сприяють попередженню атеросклерозу. У раціоні харчування сир дуже важливий для вразливої категорії населення – дітей, вагітних жінок і годуючих матерів, так як солі кальцію і фосфору, що знаходяться в ньому, витрачаються на утворення кісткової тканини й крові.

Сир та сирні продуктикорисні при захворюваннях серця та нирок, що супроводжуються набряками, так як кальцій сприяє виведенню рідини із організму.

Дуже корисним для здоров'я вважається ацидофільно-дріжджовий сир, який збагачується дріжджами та чистою культурою ацидофільної палички. Мінеральні речовини у сирі беруть участь у кісткоутворенні. Сир містить значну кількість вітамінів, їх кількість для сиру різної жирності представлена у таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст вітамінів у кисломолочному сирі

Кисломолочний сир	B1	B2	PP	C
18% жирності	0,05	0,30	0,3	0,5
9% жирності	0,04	0,27	0,4	0,5
Нежирний	0,04	0,25	0,45	0,5

Постановка завдання: оцінка впливу заквасочних культур на характеристики інноваційного кисломолочного сиру, при виробництві якого використовували кефір та масло.

Виклад основного матеріалу. Виробництвокисломолочного сиру з використанням кефіру чи масла є інновацією технологічних процесів, ключовою у розробці ресурсозберігаючих технологій виробництва сирів.

Промислове виробництво кисломолочного сиру – багатофункціональна система, в якій при зміні впливу навіть одного із факторів під час визрівання сирної маси відбувається зміна динаміки біохімічних, мікробіологічних, а також фізико-хімічних перетворень.Використання кефіру оптимізує час виробництва кисломолочного сиру, так як скорочується час його сквашування та дозрівання.

Для виробництва сиру слід використовувати лише доброякісну сировину. Пастеризоване молоко охолоджується до температури заквашування і прямує до спеціальних ванн для вироблення сиру, які монтуються на майданчику [10, 3].

Для заквашування кефіру з молока застосовували закваску, приготовану на чистих культурах мезофільного молочнокислого стрептокока (лактокока). Після додавання закваски молоко ретельно перемішували.

Після деякої витримки заквашеного молока вносили сичужний фермент. Заквашене молоко витримували до досягнення кислотності в ньому 32-35 °Т. Далі вносили розчин хлористого кальцію, щоб відновити здатність пастеризованого молока утворювати під дією сичужного ферменту щільний згусток, який добре відокремлює сироватку. У перемішане молоко додавали розчин сичужного ферменту, потім ще раз ретельно перемішували і залишали для утворення згустку.

При класичному веденні технологічного процесу із застосуванням закваски на мезофільних культурах швидкість сквашування молока становила 6-8 год, при прискореному методі (на основі кефіру) – 4-4,5 год.

При виробництві сиру з отриманого згустку видаляли вологу (сироватку разом із розчиненими у ній сухими речовинами – лактозою, сироватковими білками, мінеральними солями та інших.). З метою прискорення виділення сироватки згусток розрізали на невеликі частини, що дало змогу збільшити його поверхню та відкрити безліч капілярів й пор, а також скоротити шлях проходження сироватки на поверхню.

Спостерігалося інтенсивне виділення сироватки з порушеного згустку, кубики ущільнювалися із наростанням в них кислотності. Сироватку, що відокремилася за час витримки, випускали через штуцер або видаляли із ванни сифоном.

Наприкінці процесу самопресування мішки зі згустком рівномірно розкладали на перфороване дно візка у декілька рядів, опускали ними плиту і пресували сир до готовності. Мішки в прес-візку під час пресування перекладали і струшувализ метою прискорення виділення сироватки (нижні мішки слід переміщувати вгору, а верхні – вниз).

Пресування рекомендовано проводити в приміщеннях із температурою повітря не вище 8 °С, щоб уникнути наростання кислотності. З цією метою прес-візки перевозили із виробничого цеху до спеціальних охолоджувальних камер. Закінчення пресування визначали за вмістом вологи у сирі. Процес видалення сироватки зі згустку тривав щонайменше три години.

З метою запобігання наростання в сирі кислотності, після закінчення пресування його охолоджували до 6-8°С. З цією метою використовували охолоджувачі Локтюхова – ротаційні барабани, в яких відбувається пресування та охолодження сиру. Також на підприємствах молочної промисловості можуть бути більш

досконалі двоциліндрові охолоджувачі. Після пресування сир перемішувалита складали у холодильні камери. Готовий сир розфасовували у велику та дрібну тари.

Під час проведення досліджень дійшли висновку, що існуюча на сьогодні класична технологія вироблення сиру кислотно-сичужним способом не ідеальна і має низку серйозних недоліків. Головним недоліком є те, що весь процес вироблення сиру є доволі тривалим і займає не менше 11 год. Операції з видалення сироватки зі згустку вимагають великої витрати ручної праці та займають багато часу, а це впливає на зниження продуктивності праці. Також із сироваткою зі згустку відходить значна кількість жиру, що більше підходить, на нашу думку, для виробництва знежиреного сиру.

Слід зазначити, що за виробництва кисломолочних сирів на основі кефіру проявляєтьсядодатковий вплив кисломолочних бактерій на реологічні властивості сиру – формуються характерний зернистий малюнок та консистенція сиру. Це зумовлено тим, що участь пропіоновокислих бактерій у сироварінні є визначальним фактором при формуванні еластичної структури сирного тіста. Дані бактерії у значній кількості містяться у кефірі.

У промислових умовах виробництво сирів відбувається з масовою часткою жиру в сухій речовині 45% та масовою часткою вологи не більше 42%. Режим дозрівання сирів наступний: 14 діб при температурі 12°С та вологості 80-90%, 10 діб при температурі 23°С та вологості 90-95%, 10 діб при температурі 12^0С та вологості 80-90%.

Основними параметрами технологічних процесів, яких необхідно дотримуватись при розробці інноваційної технології нового виду сиру з кефіру та масла, вважаються наступні:

– видовий склад та кількість внесених бактеріальних заквасок – мезофільних молочнокислих стрептококів (їх кількість має бути від 0,5 до 2%) та молочнокислих паличок (від 0,1 до 0,3%);

– температура другого нагрівання (від 40 до 42°С);

– масова частка вологи у кисломолочному сирі після його пресування (в межах від 42 до 48%).

Для подальшого виготовлення з кисломолочного сиру твердих видів сирів необхідно забезпечити процес його визрівання, а для цього необхідно, щоб:

у сирній масі після її пресування була активна кислотність, pH в межах від 5,3 до 5,6;

– масова частка хлориду натрію у сирній масі становила від 1,5 до 2,5%;

– оптимальний температурний режим визрівання сиру має бути в межах від 10 до 16°С.

Процес визрівання забезпечується мікробіологічними, фізико-хімічними та біохімічними процесами, їх швидкість та спрямованість залежать від цілої низки технологічних факторів. Слід зазначити, що молочнокисла мікрофлора, яка є складовою кефіру, являється базовою рушійною силою цього процесу визрівання [11-19].

Визрівання – доволі трудомісткий процес, який для більшості видів сирів займає тривалий час. У зв'язку з цим скорочення часу визрівання традиційних видів сирів та розробка інноваційно нових сирів з короткотривалим часом визрівання є ключовим показником ефективності виробництва, так як успішне вирішення виготовлення сиру у часових рамках дасть змогу знизити собівартість молочної продукції та збільшити потужності підприємств. Ефективність дії мікроорганізмів на процес сироваріння, що входять до складу заквасок, залежить від комбінації при їх спільному використанні. Фізіологічна та біохімічна

характеристика кефірних мікроорганізмів продуцентів, як базису будь-якого процесу промислової молочної біотехнології, визначають дорожню карту технологічних процесів [20]. Сучасні інноваційні розробки містять у своєму асортименті сублімаційно висушені бактеріальні концентрати, в одному грамі яких міститься до десятка мільярдів життєздатних клітин [21; 22].

При виробництві сирів застосовували кефірні закваски глибокого заморожування прямого внесення у виробництво Cr. Hansen, Данія. В якості основної закваски використовували CHN-19 (*Lactococcuslactis ssp. cremoris, Leuconostoc, Lactococcuslactis ssp. lactis, Lactococcuslactis ssp. Lactis biovar diacetilactis*), додаткової – PS-4 (*Propionibacterium freudenreichii sub*). З метою проведення органолептичної оцінки кисломолочних сирів,виготовленихз кефіру та масла, в одну з партій додавали також заквасочні культури роду *Lactobacillus* [23]. Встановлено, що при додаванні заквасочних культур Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Lactobacillus helveticus сир набуває солодкого, горіхового або солодкувато-пряного смаку. Також додавання культур роду Lactobacillusпопереджує утворення гіркоти кисломолочного сиру під час його зберігання. Характеристика додаткових заквасочних культур представлена в таблиці 3.

Таблиця 3

Склад, призначення та характеристика додаткових заквасочних культур

Код закваски	Основна мікрофлора	Характеристика
LA-5R	*Lactobacillusacidophilus*	Сир набуває солодкого смаку, попереджається утворення гіркоти під час зберігання
L. casei-431 R	*Lactobacillus casei*	Сир набуває горіхового смаку, попереджається утворення гіркотипід час зберігання
LHB-02	*Lactobacillus helveticus*	Сир набуває солодкувато-пряного смаку, попереджається утворення гіркотипід час зберігання

На нашу думку, за результатами органолептичної оцінки продукти, які виготовляють з додаванням заквасочних культур роду Lactobacillus,володіють більш високою бальною оцінкою у порівнянні з продукцією, виготовленою за класичною рецептурою – різноманітність смакових властивостей сиру підвищує його конкурентоспроможність на молочному ринку.

Висновки та пропозиції. Встановлено вплив додаткових кефірних заквасочних культур роду *Lactobacillus* на реологічні властивості сирів. Проведено органолептичний аналіз бальної оцінки кисломолочного сиру, що виготовляється з додатковими заквасочними культурами. При використанні закваски із вмістом Lactobacillusacidophilus кисломолочний сир набуває солодкого смаку, при застосуванні закваски із вмістом Lactobacilluscasei кисломолочний сир набуває горіхового смаку.

При застосуванні технології використання кефіру та масла при виготовленні кисломолочного сиру оптимальною умовою є використання заквасочних культур роду *Lactobacillus*. Таке використання дасть змогу сформувати на ряд вищі органолептичні показники в інноваційному кисломолочному сирі. Використання мікроорганізмів роду *Lactobacillus* як додаткових культур при виробництві кисломолочного сиру дозволяють покращити консистенцію продукту, а також отримати виражений смак та аромат сиру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Цехмістренко С.І.. Кононський О.І. Біохімія молока та молокопродуктів: Навч. посіб. Біла Церква, 2014. 168 с.

2. Кравців Р.Й., Хоменко, І.В., Островський Я.Ю., Гачак, Ю.Р. Молоко и молочні продукти: Підручник. Львів: ЛА «Піраміда», 2001. 310 с.

3. Пабат В.А., Угнивенко А.Н., Гончаренко И.В. Сыропригодность коровьего молока. *Молочна промисловість*. 2004. № 6 (15). – С. 40.

4. Ножечкіна, Г.М. Вимоги до якості молока в сировиробництві та рекомендації щодо поліпшення його сиропридатності *Молочна промисловість.* 2006. № 8 (33). С. 46-49.

5. Славов В.П., Шубенко О.І., Ковальчук Т.І. Біохімія молока та молочних продуктів: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ Ім. І. Франка, 2013. 208 с.

6. Kenza A., Leclercq-Perlat M-N., Baucher A., Tache R., Delettre J., Bonnarme P. Contribution of several cheese-ripening microbial associations to aroma compound production. *Lait*. 2004. Vol. 84. P 435-447.

7. Fox P. F., Guinea T. P., Cogan T. M., McSweeney P. L. H. Fundamentals of cheese science. *Springer*. 2000. P. 587.

8. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биохимические и физико-химические аспекты: Монография. Москва: ДеЛиПринт, 2003. 800 с.

9. Скотт, Р. Робинсон Р.К., Уилби Р.А. Производство сыра: научные основы и технологии: Учебник. Санкт-Петербург: Профессия, 2005. 464 с.

10. Ножечкіна Г.М. , Гуляєв-Зайцев С.С. Склад і властивості заготівельного молока у східному регіоні лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 5. С. 59-61.

11. Ghoddusi, H.B., Robinson R.K. Enumeration of starter cultures in fermented milk. *Journal of Dairy Research*. 1996. Vol. 63, № 2. P. 151-181.

12. Kosikowski F.V., Peters Iane Z.Z.C. 1., Mistry Cheese and fermented milk foods: Origins and Principles; Vol.1. Wesport, Connecticut 06880. 1997. 727 p.

13. Lane C.N., Fox P.F., Walsh E.M. Effect of compositional and environmental factors on the growth of indigenous nonstarter lactic acid bacteria in *Cheddar cheese Lait*. 1997. Vol. 77, № 5. P. 561-570.

14. Fox, P.F., McSweeney P.L.H., Lynch C.M. Significance on nonstarter lactic acid bacteria in Cheddar cheese. *Australian Journal of Dairy Technologies*. 1997. Vol. 53. № 2. P. 83-89.

15. Hynes E., Bach C., Lamberet G. Contribution of starter lactococci and adjunct lactobacilli to proteolysis, volatile profiles and sensory characteristics of washed-curd cheese. *Lait*. 2003. Vol. 83. № 1. P. 31-43.

16. Перфильев, Г.Д. Научные исследования и практические разработки ВНИИМС в области биотехнологии сыроделия. *Молочное дело*. 2004. № 1. С. 5-8.

17. Boucher B., Brothersen C., Broadbent J.R. Influence of starter and nonstarter lactic acid bacteria on medium redox. *Australian Journal of Dairy Technologies*. 2006. Vol. 61. № 2. P. 176-188.

18. Steele J.L., Budinich M.F., Hui Cai. Diversity and metabolic activity of Lactobacillus casei in ripening cheddar cheese. *Australian Journal of Dairy Technologies*. 2006. Vol. 61. № 2. P. 206-218.

19. Климовский И.И. Технология производства эстонского сыра ускоренного созревания. Производство новых видов сыра: Сборник трудов. Москва: ГОСИИТИ. 1962. С. 50-62.

20. Kammerlehner Josef. Cheese Technology. Publishing House Josef Kammerlehner D – 85354 Freising (Germany). Translated by Alex Mixa. 2009. 930 p.

21. Сорокина Н.П., Гудков А.В., Перфильев Г.Д. Антагонистическая активность молочнокислых бактерий в отношении патогенных энтеробактерий: *Сборник научных трудов*. НПО «Углич». 1989. С. 9-15.

22. Свириденко Ю.Я. Биотехнологические аспекты интенсификации сыродельного производства: автореф. … док. биолог. наук: 03.00.23. Москва, 1999. 55 с.

23. Власенко І.Г., Семко Т.В., Гирич С.В.. Інновації у виробництві твердих сирів: Монографія. Вінниця: РВВ ВТЕІ КНТЕУ, 2018. – 144 с.

REFERENCES:

1. Tsekhmistrenko S.I., Konons′kyy O.I. (2014) *Biokhimiya moloka ta molokoproduktiv* [Biochemistry of milk and dairy products]. BilaTserkva (in Ukrainian).

2. Kravtsiv R.Y., Khomenko I.V., Ostrovsky Y.Y., Gachak Y.R. (2001) *Moloko i molochni produkty* [Milk and dairy products]. L′viv: LA «Piramida» (in Ukrainian).

3. Pabat V.A., Ugnivenko A.N., Goncharenko I.V. (2004) Syroprigodnost' korov'yego moloka [Cheese suitability of cow's milk]. *Molochna promyslovist'*, vol. 15, no. 6, p. 40.

4. Nozhechkína, G.M. Vimogi do yakostí moloka v sirovirobnitství ta rekomendatsíÿ shchodo polípshennya yogo siropridatností [Requirements for the quality of milk in cheese production and recommendations for improving its suitability for cheese]. *Molochna promyslovist'*, vol. 33, no. 8, pp. 46-49.

5. Slavov V.P., Shubenko O.I., Kovalchuk T.I. (2013). *Biokhimiya moloka ta molochnykh produktiv* [Biochemistry of milk and dairy products]: Zhytomyr: ZHDU Im. I.Franka (in Ukrainian).

6. Kenza A., Leclercq-Perlat M-N., Baucher A., Tache R., Delettre J., Bonnarme P. (2004) Contribution of several cheese-ripening microbial associations to aroma compound production. *Lait*. vol. 84, pp. 435-447.

7. Fox P.F., Guinea T.P., Cogan T.M., McSweeney P.L.H. (2000) Fundamentals of cheese science. *Springer*, p. 587.

8. Gudkov A.V. *Syrodeliye: tekhnologicheskiye, biokhimicheskiye i fiziko-khimicheskiye aspekty* [Cheese making: technological, biochemical and physicochemical aspects] – Moscow: DeLiPrint (in Russian).

9. Skott R., Robinson R.K., Uilbi R.A. (2005) *Proizvodstvo syra: nauchnyye osnovy i tekhnologii* [Cheese production: scientific bases and technologies]. Sankt-Peterburgh: Professiya (in Russian).

10. Nozhechkína G.M., Gulyaêv-Zaytsev S.S. (2005) Sklad í vlastivostí zagotível'nogo moloka u skhídnomu regíoní lísostepu [Composition and properties of harvested milk in the eastern region of the forest-steppe]. *Vísnik agrarnoí nauki*, no. 5, pp. 59-61.

11. Ghoddusi H.B., Robinson R.K. (1996) Enumeration of starter cultures in fermented milk. *Journal of Dairy Research*, vol. 63, no. 2, pp. 151-181.

12. Kosikowski F.V., Peters Iane Z.Z.C. 1 (1997) Mistry Cheese and fermented milk foods. Wesport, Connecticut 06880: Origins and Principles (in English).

13. Lane C.N., Fox P.F., Walsh E.M. (1997) Effect of compositional and environmental factors on the growth of indigenous nonstarter lactic acid bacteria in Cheddar cheese. *Lait*, vol. 77, no. 5, pp. 561-570.

14. Fox P.F., McSweeney P.L.H., Lynch C.M. (1997) Significance on nonstarter lactic acid bacteria in Cheddar cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, vol. 53, no. 2, pp. 83-89.

15. Hynes E., Bach C., Lamberet G. (2003) Contribution of starter lactococci and adjunct lactobacilli to proteolysis, volatile profiles and sensory characteristics of washed-curd cheese. *Lait,* vol. 83, no.1, pp. 31-43.

16. Perfil'yev G.D. (2004) Nauchnyye issledovaniya i prakticheskiye razrabotki VNIIMS v oblasti biotekhnologii syrodeliya [Research and practical development of VNIIMS in the field of biotechnology of cheese-making]. *Molochnoye delo*, no. 1, pp. 5-8.

17. Boucher B., Brothersen C., Broadbent J.R. (2006) Influence of starter and nonstarter lactic acid bacteria on medium redox. *Journal of Dairy Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 176-188.

18. Steele J.L., Budinich M.F., Hui Cai (2006) Diversity and metabolic activity of Lactobacillus casei in ripening cheddar cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 206-218.

19. Klimovskiy I.I. (1962) Tekhnologiya proizvodstva estonskogo syra uskorennogo sozrevaniya. Proizvodstvo novykh vidov syra [Estonian cheese production technology of accelerated ripening. Production of new types of cheese]. *Collection of works GOSIITI (Russia, Moscow, 1962),* pp. 50-62.

20. Kammerlehner Josef (2009) Cheese Technology. Freising (Germany): Publishing House Josef Kammerlehner D (in English).

21. Sorokina N.P., Gudkov A.V., Perfil'yev G.D. (1989) Antagonisticheskaya aktivnost' molochnokislykh bakteriy v otnoshenii patogennykh enterobakteriy [Antagonistic activity of lactic acid bacteria against pathogenic enterobacteria]. *Sbornik nauchnych trudov: NPO «Uglich»,* pp. 9-15.

22. Sviridenko YU.YA. (1999) *Biotekhnologicheskiye aspekty intensifikatsii syrodel'nogo proizvodstva* [Biotechnological aspects of cheese production intensification] (avtoref. diss. dok. biolog. nauk, 03.00.23), Moscow: All-Russian Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition.

23. Vlasenko I.H., Semko T.V., Hyrych S.V. (2018) *Innovatsiyi u vyrobnytstvi tverdykh syriv* [Innovations in the production of hard cheeses]. Vinnytsya: RVV VTEI KNTEU (in Ukrainian).

УДК 614.9:579. 62:613, 287:613,287.5
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.13

САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА-СИРОВИНИ КОРОВ'ЯЧОГО ТА ЙОГО МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

Букалова Н. В. *– кандидат ветеринарних наук, доцент*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-4856-3040

Приліпко Т. М. *– доктор сільськогосподарських наук, професор*
Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»
ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

Богатко Н. М. *– доктор ветеринарних наук, доцент*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-1566-10426

Лясота В. П. *– доктор ветеринарних наук, професор*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-1566-1026

Джміль В. І. *– кандидат ветеринарних наук, доцент*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-3590-0167

Утеченко М. В. *– кандидат ветеринарних наук, доцент*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-3747-9054

Богатко Л. М. *– кандидат ветеринарних наук, доцент*
Білоцерківського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-7795-8722

Основними факторами, що впливають якість продуктів харчування, є якість сировини, технічний і технологічний рівень підприємств, система менеджменту якості і безпеки харчових продуктів Якість молока не може бути покращена в процесі переробки, в кращому випадку її можна стабілізувати, тому система управління якістю молока повинна бути орієнтована на технологічні процеси його виробництва і первинну обробку з використанням профілактичного підходу. Санітарно-гігієнічна якість виробництва молока є складною проблемою, яка визначається низкою факторів, які об'єднуються в поняття «технологія і культура виробництва». Загальне бактеріальне забруднення молочної сировини слід розглядати як сукупність джерел потрапляння мікроорганізмів в технологічне середовище, зокрема мікрофлори поверхні вимені і частин; мікрофлори каналів вимені; мікроорганізмів доїльного обладнання, молочних ліній, молочної упаковки; мікрофлори персоналу і навколишнього середовища. Під час резервування і транспортування молока відбувається розмноження мікроорганізмів, внаслідок чого зростає їх кількість і може змінюватись якісний склад та співвідношення між окремими групами і видами. Характер цих змін залежить від температури і тривалості зберігання молока, початкового ступеня його забруднення та складу мікрофлори. Бактеріологічні дослідження молока-сировини проводили, визначаючи кількість мезофільних аеробних

та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ), наявність бактерій групи кишкової палички (БГКП), патогенних стафілококів та стрептококів, які є збудниками маститу. За результатами дослідження сирого незбираного молока коров'ячого, викладеними у статті, установлена його контамінація не лише мікрококами, психрофільними мікроорганізмами родів Achromobacter, Pseudomonas, Aeromonas, Enterobacter, але й патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами (стафілококами, стрептококами, кишковою паличкою, коринебактеріями), які спричинюють виникнення запалення молочної залози і є збудниками харчових отруєнь людей. Відповідно до вимог ЄС, значне підвищення нормативів безпечності та якості молока-сировини за вимогами національного стандарту (ДСТУ 3662–2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови») вимагає перегляду нормативної бази стосовно санітарно-гігієнічних та технологічних умов одержання, його первинної обробки на потужностях з виробництва незбираного коров'ячого молока-сировини. Для визначення ефективності санітарної обробки і нормативної чистоти доїльного обладнання й молочного устаткування досить надійним та інформативним показником є встановлення титру ентерококів, оскільки нині широко використовуваний з цією метою титр бактерій групи кишкової палички має дещо нижчу результативність, а тому не зовсім виправданий.

Ключові слова: *молоко-сировина коров'яче, доїльне обладнання, норматив чистоти, КМАФАнМ, патогенні мікроорганізми, титр БГКП, титр ентерококів, субклінічний мастит.*

Bukalova N. V., Prilipko T. M., Bogatko N. M., Lyasota V. P., Djmil V. I., Utechenko M. V., Bogatko L. M. Sanitary and hygienic control of cow's milk production and its microbiological analysis

The main factors influencing the quality of food are the quality of raw materials, technical and technological level of enterprises, food quality and safety management system Milk quality cannot be improved during processing, at best it can be stabilized, so the milk quality management system focused on the technological processes of its production and primary treatment using a preventive approach. Sanitary and hygienic quality of milk production is a complex problem, which is determined by a number of factors that are combined in the concept of "technology and culture of production". General bacterial contamination of raw milk should be considered as a set of sources of microorganisms in the technological environment, in particular the microflora of the udder surface and parts; udder microflora; microorganisms of milking equipment, dairy lines, milk packaging; microflora of personnel and the environment. During the reservation and transportation of milk, microorganisms multiply, as a result of which their number increases and the qualitative composition and ratio between individual groups and species may change. The nature of these changes depends on the temperature and duration of storage of milk, the initial degree of its contamination and the composition of the microflora. Bacteriological studies of raw milk were performed to determine the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (KMAFanM), the presence of Escherichia coli bacteria (BGKP), pathogenic staphylococci and streptococci, which are the causative agents of mastitis. According to the results of the study of raw whole cow's milk presented in the article, its contamination was established not only by micrococci, psychrophilic microorganisms of the genera Achromobacter, Pseudomonas, Aeromonas, Enterobacter, but also by pathogenic and opportunistic microorganisms (staphylococcus, streptococcus, streptococcus, streptococcus, which cause inflammation of the breast and are the causative agents of food poisoning. In accordance with EU requirements, a significant increase in safety and quality standards of raw milk according to the national standard (DSTU 3662-2018 "Raw cow's milk. Specifications") requires a revision of the regulatory framework for sanitary and technological conditions of production, its primary processing at the facilities for the production of whole cow's raw milk. To determine the efficiency of sanitation and regulatory cleanliness of milking equipment and dairy equipment is quite reliable and informative indicator is the establishment of the titer of enterococci, as currently widely used for this purpose the titer of Escherichia coli bacteria is slightly lower, and therefore not entirely justified.

Key words: *raw cow's milk, milking equipment, purity standard, KMAFANM, pathogenic microorganisms, BGKP titer, enterococci titer, subclinical mastitis.*

Постановка проблеми. Найбільш актуальними проблемами харчової промисловості сьогодні є якість продуктів харчування. Молочна продукція – це повсякденний і традиційний продукт харчування, який споживається усіма віковими групами населення, тому якість і безпека цього продукта має бути гарантованою.

Разом з цим, якість харчової продукції є головною умовою її конкурентноздатності [6, с. 45; 9, с. 108]. За характером і ступенем небезпечності для здоров'я людини перше місце посідають забруднення харчових продуктів, спричинені мікрофлорою. Відповідно до переліку харчових продуктів за ступенем забруднення мікроорганізмами і частотою випадків харчових отруєнь, розробленому Всесвітньою організацією охорони здоров'я, молоко і молочні продукти віднесені до 1 категорії як ті, що найчастіше служать прямим джерелом харчових отруєнь. Тому, молоко слід розглядати не лише з позиції задоволення потреби людини у харчових і біологічно активних речовинах, але й як джерело можливих потенційно небезпечних для здоров'я людини речовин [1, с. 7; 2, с. 12; 5, с. 176].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До безпечності та якості молока-сировини коров'ячого пред'являють особливі вимоги, оскільки, за найменшого порушення санітарно-гігієнічних умов його одержання і первинної обробки на потужностях з виробництва молока, воно може слугувати сприятливим середовищем для розвитку умовно-патогенних та патогенних мікроорганізмів [9, с. 108; 11, с. 13; 26, с. 35; 28, с. 52].

За сучасних умов досить широко використовуються опосередковані методи ідентифікації патогенних мікроорганізмів під час дослідження коров'ячого незбираного молока-сировини, що лише з певною мірою вірогідності дають можливість їх виявляти, що зумовлено тим, що арсенал прямих мікробіологічних методів дослідження патогенних бактерій є ще недостатнім. Показником фекального забруднення молочної сировини, зокрема, і довкілля, в цілому, є наявність бактерій групи кишкової палички (БГКП), а саме – *Escherichia coli* [3, с. 18; 4, с. 29]. Нині екологічна наука перетворюється на специфічний загальнонауковий підхід щодо вивчення різних об'єктів навколишнього середовища та суспільства і на підставі принципів екологізації формуються дещо нові підходи до отримання більш безпечного молока-сировини [8, с. 126; 10, с.7] За такого підходу дуже важливим є виявлення санітарно-показових мікроорганізмів у сирому молоці.

Основним джерелом мікробної контамінації молока є доїльне обладнання та молочний посуд, тому їх санітарна обробка вимагає особливої уваги і першочергового вирішення. Експериментальним шляхом установлено, що впродовж терміну збирання свіжовидоєного молока в загальну ємність та охолодження до температури 4±2°С уміст мікробів у ньому збільшується у 3–3,5 рази внаслідок їх змивання з доїльного обладнання та наступного розмноження, тому дотримання режиму санітарної обробки вимагає значної уваги і першочергового вирішення та гарантує безпечність одержаної молочної сировини [13, с. 8; 14, с. 21, 22, с. 35]. Санітарно-гігієнічні показники молока-сировини та доїльного обладнання встановлюють за їх мікробним обсіменінням (кількістю колоній-утворювальних одиниць на 1 $см^2$ досліджуваної поверхні) і колі-титром (кількістю досліджуваного матеріалу, в яких виявлена 1 кишкова паличка). Виявляється, зіставлення мікробного числа змиву доїльного обладнання (кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) у 1 $см^3$ змиву до 100 тис. КУО) і його колі-титру (більше 1,0), як нормативу чистоти, експериментально не було підтверджено [20, с. 353; 21, с. 15].

Експериментальними дослідженнями встановлено, що впродовж терміну надходження свіжовидоєного молока в загальну ємність-танк та його охолодження до температури 4±2°С, кількість мікроорганізмів у ньому збільшується у 3–3,5 рази через їх змивання з поверхні доїльного обладнання та наступного їх розвитку [11, с. 24], Для доставки на потужність з переробки молока-сировини

з кількістю мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) до 100 тис. КУО, потрібно, щоб у 1 $см^3$ збірного свіжонадоєного молока їх було не більше 20 тис. колоній-утворювальних одиниць. Одержати таке молоко можна лише за умови, якщо кількість МАФАнМ у змивах з деталей доїльного обладнання не перевищуватиме 500 КУО/$см^3$ [17, с. 36, 18, с. 234], що в свою чергу, потребує не лише наявності відповідних технологій на потужностях з виробництва молока-сировини, ефективних мийно-дезінфікуючих засобів, кваліфікованого персоналу, але й систематичного контролювання ефективності санітарного оброблення доїльного обладнання, що є основним джерелом контамінації свіжовидоєного молока мікрофлорою [23, с. 476; 24, с. 87]. Тому, актуальним є пошук альтернативного, швидкого і більш простого у виконанні методу визначення ефективності санітарного оброблення доїльного обладнання та молочного устаткування, з результатами, адекватними прямому чашковому методу.

Постановка завдання. Метою досліджень було санітарно-гігієнічне контролювання виробництва незбираного коров'ячого молока на фермі СТОВ «Бурівське» Городнянського району Чернігівської області; порівняння результативності загальноприйнятого титру БГКП і альтернативного титру ентерококів, які наявні в нормальному мікробіотичному ценозі товстого відділу кишечнику тварини та людини, як прямого показника фекального забруднення і довкілля, і молока-сировини для визначення ефективності санітарного оброблення доїльного обладнання та молочного устаткування.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проводили згідно з чинними нормативними документами: ДСТУ 3662–2018, ДСТУ 7089:2009, ДСТУ 1DF 122C:2003(1DF 122C:1996, IDT), ДСТУ ISO 5944:2005 (IDF 60:2001). ДСТУ 7357:2013, ДСТУ IDF 73A:2003 [10–15]. Для визначення результативності титрів БГКП і ентерококів, ефективності санітарного оброблення доїльного обладнання та молочного устаткування, з деталей доїльного апарату, танка-охолоджувача, за різного їх санітарного стану брали змиви, відповідно до вимог «Санітарних правил щодо догляду за доїльним устаткуванням та молочним інвентарем і контролю їх санітарного стану» «Рекомендацій щодо санітарно-мікробіологічного дослідження змивів з поверхонь тест-об'єктів та об'єктів ветеринарного нагляду і контролю» [27, с. 67].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для санітарної обробки в даному господарстві використовують препарат «Дезмол», що випускається промисловістю для одночасного миття та дезінфекції доїльного обладнання й молочного інвентарю і являє собою суміш неорганічних солей, мийних засобів та хлорумісного компонента (5–6% активного хлору), а також речовин антикорозійних і пом'якшуючих воду. За ручної обробки переносних бідонів, в які видоюють молоко корів в господарстві, дезінфекцію проводять розчином «Дезмолу» з масовою часткою 0,5%. Установлено, що у свіжовидоєному молоці-сировині найбільший відсоток бактерій складають мікрококи (31,8%), психрофільні бактерії родин *Achromobacter, Pseudomonas, Aeromonas, Enterobacter* (21%), стафілококи (14,2%), стрептококи (13%) і коринебактерії (13%).

У першій дослідній групі наведені результати дослідження змивів, мікробне число (КМАФАнМ) яких було в нормативних межах ефективної санітарної обробки, а титри обох груп санітарно-показових мікроорганізмів (БГКП і ентерококів) становили >1,0. У другій дослідній групі наведені результати дослідження змивів із титрами БГКП >1,0, а ентерококів – 1,0 і < 1,0 (діапазон кількості МАФАнМ – від 1000 до 1000 000 КУО). У третій дослідній групі – дані щодо

Таблиця 1

Показники титрів БГКП та ентерококів, залежно від кількості МАФАнМ у змивах з доїльного обладнання

КМАФАнМ, КУО/ кількість змивів	Титр	Значення титру			
		> 1,0	**1,0**	**0,1**	**≤ 0,01**
Перша дослідна група					
До 500 тис./21	БГКП	21	–	–	–
	Ентерококів	21	–	–	–
Від 500 до 1 тис./5	БГКП	5	–	–	–
	Ентерококів	5	–	–	–
Друга дослідна група					
Від 1 тис. до 500 тис./34	БГКП	34	–	–	–
	Ентерококів	–	15	12	7
Від 500 тис. до 1 млн./16	БГКП	16	–	–	–
	Ентерококів	–	6	2	8
Третя дослідна група					
Більше 1 млн./14	БГКП	–	4	5	5
	Ентерококів	–	–	4	10

результатів дослідження всіх змивів з мікробним числом від 1000 до 1000 000 КУО і більше 1000 000 КУО, титром БГКП та ентерококів – 1,0 і < 1,0, відповідно.

Одержані результати дослідження змивів у другій дослідній групі дають підставу стверджувати, що титр БГКП більше 1,0 не може слугувати опосередкованим показником нормативної чистоти доїльного обладнання. Титр ентерококів (перша дослідна група) більше 1,0 у 91,0% випадків мав майже однакові показники із нормативною кількістю МАФАнМ у змивах (≤500 КУО). Незначне відхилення мікробного числа від 500 до 1000 КУО складає лише 9%, а тому вважатимемо його не принциповим. За титру ентерококів більше 1,0, нормативна кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів у свіжовидоєному молоці становила до 19 тис. КУО/см^3.

Висновки.

1. Свіжовидоєне молоко від корів, отримане на потужності з виробництва молока СТОВ «Бурівське» Городнянського району Чернігівської області, контаміноване не лише мікрококами, психрофільними мікроорганізмами *(Achromobacter, Pseudomonas, Aeromonas, Enterobacter*), але й патогенною мікрофлорою, зокрема, стафілококами, стрептококами і коринебактеріями, що зумовлюють не лише запалення молочної залози, а й є збудниками харчових отруєнь у людей.

2. У молоці від корів клінічно здорових, кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів становила від 10 до 100 тис. КУО/см^3, а основних збудників маститу не виявлено.

3. У молоці від корів, хворих на субклінічний мастит, кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів становила від 1 до 3 млн. КУО/см^3, частіше виділяли *Staphylococcus aureus*, дещо рідше – *Streptococcus agalactiae* і *Escherichia coli*.

4. Титр бактерій групи кишкової палички (БГКП) не можна напевно вважати опосередкованим показником нормативної чистоти доїльного обладнання та молочного устаткування на потужності з виробництва молока.

5. Титр ентерококів, що складає більше 1,0, є досить результативним і може бути надійним показником нормативної ефективності санітарного оброблення доїльного обладнання за контролювання належної гігієнічної та виробничої практики одержання і первинної обробки незбираного коров'ячого молока.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Про молоко та молочні продукти : Закон України. Офіц. вид. Київ: Парламентське вид-во, (2004)16 с. (Бібліотека офіційних видань). Зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 30.11.2006 р. № 402-V, від 15.04.2010 р. № 2132-VI, від 16.10.2012 р. № 5462-VI, від 5.09.2013 р. № 442-VII, від 9.04.2014 р., № 1193-VII, від 12.02.2015 р. № 191-VIII.

2. Про гігієну харчових продуктів (2004): Регламент (ЄС) Європейського парламенту і Ради № 852⁄2004⁄ЄС від 29.04. 2004 р.

3. Околітенко Н. І., Гродзинський Д. М. *Основи системної біології* (2005). *Київ: Либідь*, 358 с.

4. Козенко О. В., Дідик І. М., Вороняк В. В. Питання екології у тваринництві та вплив їх на здоров'я і продуктивність тварин. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.* 2007. Т. 9. Ч. 1. № 4 (35). С. 29–35.

5. Демчук М. В., Козенко О. В., Двилюк І. В. Реалізація санітарно-гігієнічних вимог на основі принципів *HACCP* . *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.* 2007. Т. 9. № 4 (35). Ч. 1. С. 58–64.

6. Кухтин М. Д. Мікробіологічні нормативи ефективності технологій одержання молока сирого екстра-ґатунку. *Ветеринарна медицина України.* 2008. № 2. С. 45–46.

7. Розробка і впровадження плану загальної ветеринарної профілактики у технологічний процес ферми з виробництва молока // М. В. Демчук та ін.. *Агровісник Причорномор'я.* 2008. Вип. 42. Ч. 1. С. 103–106.

8. Свергун Ж. Г. Ентерококи як біоіндикаторна група бактерій у гігієні молока. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.* 2009. Т. 11. Ч. 3. № 3 (42). С. 126–130.

9. Lück H. Reduction tests for determination of the bactoriogical quality of raw milk. *Kieler Milchwirtschaftliche Forscungsberchte.* 2012. № 1. P. 108–116.

10. ДСТУ 3662–2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови». [Чинний від 2019–01–01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 22 с.

11. ДСТУ 1DF 122C:2003. Молоко і молочні продукти. Підготовка проб і розведень для мікробіологічного дослідження (1DF 122C:1996, IDT). [Чинний від 2003–04–01]. Вид. офіц. Київ, 2003. 34 с

12. ДСТУ IDF 100B–2003.Молоко і молочні продукти. Визначення кількості мікроорганізмів. Метод підрахунку колоній за температури 30 °С. [Чинний від 2003–07–01]. Вид. офіц. Київ, 2003. 28 с.

13. ДСТУ 7089:2009. Молоко і молочні продукти. Методика підраховування кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, дріжджів і плісеневих грибів за допомогою пластин. [Чинний від 2009–10–27]. Вид. офіц. Київ, 2010. 27 с

14. ДСТУ ISO 5944:2005 (IDF 60:2001). Молоко і продукти на основі молока. Визначення кількості коагулазопозитивних стафілококів методом найімовірнішого числа. [Чинний від 2005–12–26]. Вид. офіц. Київ, 2007. 29 с.

15. ДСТУ EN 12824:2004 (EN 12824:1997, IDT. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод виявлення *Salmonella.* [Чинний від 2005–01–07]. Вид. офіц. Київ, 2005. 26 с.

16. Санітарні правила щодо догляду за доїльним устаткуванням та молочним інвентарем і контролю їх санітарного стану : методичні рекомендації. *Затв. наук.-метод. радою Державного комітету ветеринарної медицини Міністерства аграрної політики України* 23.12. 2010 р.

17. Рекомендації щодо санітарно-мікробіологічного дослідження змивів з поверхонь тест-об'єктів та об'єктів ветеринарного нагляду і контролю : *затв. науково-методичною Радою Держдепартаменту ветеринарної медицини Міністерства аграрної політики України* 23.12.2004 р., № 4.

18. Козенко О. В., Свергун Ж. Г. Передумови створення системи належної гігієнічної практики в господарствах-виробниках молока коров'ячого сирого. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького*. 2011. Т. 13 № 2 (48). Ч. 2, С. 234–240.

19. Кухтин М. Д. Концепція розробки та застосування нормативів для виробництва сирого молока ґатунку „екстра" за вмістом мікроорганізмів. *Ветеринарна медицина України*. 2010. №10. С.42–43.

20. Свергун Ж. Г. Титр ентерококів як показник ефективності санобробки доїльних установок. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2010. Ч. 2. № 3. С. 353–356.

21. Nadia M. Bogatko, Natalia V. Bukalova. Some indices' determination of raw and pasteurized cow milk by ukrainian manufacturers using unique express methods. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences (JMBFS)* August – September 2019, vol. 9, no. 1 MAIN WEB SITEISSUE // www.fbp.uniag.sk

22.Bogatko N., Miahka K., Dudus T., Bukalova N..Control of safety of honey by establishing its falsification by express method. *Science, innovations and education: problems and prospects. Proceedings of the VI International scientific and practical conference, CPN Publishings Group. Tokyo, Japan*. 2022. P. 35−40.

23.Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. *International Journal of Agricultural Extension. Special Issue* (02) 2021. p. 83–91. DOI:https://journals.esciencepress.net/index.php/IJAE/article/download/3964/1960

24. Біохімічний і мікробіологічний контроль якості харчових продуктів. *Навчальний посібник*. / Т.М. Приліпко, Т.В. Коваль, Н.В. Букалова. Кам'янець-Подільський, 2020. 653 с.

25. Prylìpko, T.M., Prylìpko, l.V. Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety // *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects*» (Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016).

26. Чагаровський В. Стан вітчизняної молокопереробної галузі. *IX Міжнародний молочний конгрес: «Виклики, стратегії та інновації молокопереробного бізнесу 2016»*, 2−4 березня 2016 року. Київ, 2016. С. 35–40.

27.Остап'юк С.Д. Встановлення параметрів мікробіологічних ризиків у критичних точках контролю технологічного процесу виробництва пастеризованого молока. *Науковий збірник НУ «Львівська політехніка» «Вимірювальна техніка та метрологія*». 2016. № 77. С. 183–187.

28. Столярчук П.Г. Ідентифікація та аналіз мікробіологічних небезпечних чинників при виробництві молочної продукції. *Науково-технічний журнал «Стандартизація, сертифікація, якість» Харківської філії «Українського науково-дослідного і навчального центру проблем стандартизації, сертифікації та якості*». 2012. № 6. С.52–61.

REFERENCES:

1. Pro moloko ta molochni produkty: Zakon Ukrainy. Ofits. vyd. Kyiv: Parlamentske vyd-vo16 s. (Biblioteka ofitsiinykh vydan). Zi zminamy i dopovnenniamy, vnesenymy Zakonamy Ukrainy vid 30.11.2006 r. № 402-V, vid 15.04.2010 r. № 2132-VI, vid 16.10.2012 r. № 5462-VI, vid 5.09.2013 r. № 442-VII, vid 9.04.2014 r., № 1193-VII, vid 12.02.2015 r. № 191-VIII.

2. Pro hihiienu kharchovykh produktiv: Rehlament (IeS) Yevropeiskoho parlamentu i Rady № 852/2004 ЛeS vid 29.04. 2004 r.

3. Okolitenko N. I., Hrodzynskyi D. M. Osnovy systemnoi biolohii. Kyiv: Lybid, 358 s.

4. Kozenko O. V., Didyk I. M., Voroniak V. V. (2007) Pytannia ekolohii u tvarynnytstvi ta vplyv yikh na zdorovia i produktyvnist tvaryn. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Hzhytskoho.* T. 9. Ch. 1. № 4 (35). S. 29–35.

5. Demchuk M. V., Kozenko O. V., Dvyliuk I. V. (2007) Realizatsiia sanitarno-hihiienichnykh vymoh na osnovi pryntsypiv NASSR . Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Hzhytskoho. T. 9. № 4 (35). Ch. 1. S. 58–64.

6. Kukhtyn M. D (2008) Mikrobiolohichni normatyvy efektyvnosti tekhnolohii oderzhannia moloka syroho ekstra-gatunku. *Veterynarna medytsyna Ukrainy*. № 2. S. 45–46.

7. Demchuk M. V. (2008) Rozrobka i vprovadzhennia planu zahalnoi veterynarnoi profilaktyky u tekhnolohichnyi protses fermy z vyrobnytstva moloka. *Ahrovisnyk Prychornomoria*.Vyp. 42. Ch. 1. S. 103–106.

8. Sverhun Zh. H. (2009) Enterokoky yak bioindykatorna hrupa bakterii u hihiieni moloka. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Hzhytskoho.* T. 11. Ch. 3. № 3 (42). S. 126–130.

9. Lück H. (2012) Reduction tests for determination of the bactoriogical quality of raw milk. Kieler Milchwirtschaftliche Forscungsberchte. № 1. P. 108–116.

10. DSTU 3662–2018 «Moloko-syrovyna koroviache. Tekhnichni umovy». [Chynnyi vid 2019–01–01]. 2019. Vyd. ofits. Kyiv, 22 s.

11. DSTU 1DF 122S:2003. Moloko i molochni produkty. Pidhotovka prob i rozveden dlia mikrobiolohichnoho doslidzhennia (1DF 122S:1996, IDT). [Chynnyi vid 2003–04–01]. 2003,Vyd. ofits. Kyiv, 34 s.

12. DSTU IDF 100V–2003. (2003) Moloko i molochni produkty. Vyznachennia kilkosti mikroorhanizmiv. Metod pidrakhunku kolonii za temperatury 30 °S. [Chynnyi vid 2003–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2003. 28 s.

13. DSTU 7089:2009.. Moloko i molochni produkty. Metodyka pidrakhovuvannia kilkosti mezofilnykh aerobnykh ta fakultatyvno-anaerobnykh mikroorhanizmiv, drizhdzhiv i plisenevykh hrybiv za dopomohoiu plastyn. [Chynnyi vid 2009–10–27]. 2010. Vyd. ofits. Kyiv, 27 s

14. DSTU ISO 5944:2005. (IDF 60:2001). Moloko i produkty na osnovi moloka. Vyznachennia kilkosti koahulazopozytyvnykh stafilokokiv metodom naiimovirnishoho chysla. [Chynnyi vid 2005–12–26]. 2007. Vyd. ofits. Kyiv,. 29 s.

15. DSTU EN 12824:2004 (EN 12824:1997, IDT. Mikrobiolohiia kharchovykh produktiv i kormiv dlia tvaryn. Horyzontalnyi metod vyiavlennia Salmonella. [Chynnyi vid 2005–01–07]. 2005. Vyd. ofits. Kyiv, 26 s.

16. Sanitarni pravyla shchodo dohliadu za doilnym ustatkuvanniam ta molochnym inventarem i kontroliu yikh sanitarnoho stanu: metodychni rekomendatsii. Zatv. nauk.-metod. radoiu Derzhavnoho komitetu veterynarnoi medytsyny Ministerstva ahrarnoi polityky Ukrainy 23.12. 2010 r.

17. Rekomendatsii shchodo sanitarno-mikrobiolohichnoho doslidzhennia zmyviv z poverkhon test-obiektiv ta obiektiv veterynarnoho nahliadu i kontroliu : zatv. nau-

kovo-metodychnoiu Radoiu Derzhdepartamentu veterynarnoi medytsyny Ministerstva ahrarnoi polityky Ukrainy 23.12.2004 r., № 4.

18. Kozenko O. V., & Sverhun Zh. (2011) H. Peredumovy stvorennia systemy nalezhnoi hihiienichnoi praktyky v hospodarstvakh-vyrobnykakh moloka koroviachoho syroho. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho.* T. 13 № 2 (48). Ch. 2, S. 234–240.

19. Kukhtyn M. D. (2010) Kontseptsiia rozrobky ta zastosuvannia normatyviv dlia vyrobnytstva syroho moloka gatunku „ekstra" za vmistom mikroorhanizmiv. *Veterynarna medytsyna Ukrain*y. № 10. S. 42–43.

20. Sverhun Zh. H. Tytr enterokokiv yak pokaznyk efektyvnosti sanobrobky doilnykh ustanovok. *Naukovyi visnyk natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. Kyiv, 2010. Ch. 2. № 3. S. 353–356.

21. Nadia M. Bogatko, Natalia V. Bukalova. Some indices determination of raw and pasteurized cow milk by ukrainian manufacturers using unique express methods Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences (JMBFS) August – September. vol. 9, no. 1 MAIN WEB SITEISSUE. www.fbp.uniag.sk

22.Bogatko N., Miahka K., Dudus T., Bukalova N. Control of safety of honey by establishing its falsification by express method. Science, innovations and education: problems and prospects. *Proceedings of the VI International scientific and practical conference, CPN Publishings Group. Tokyo, Japan*. 2022. P. 35−40.

23.Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. International. *Journal of Agricultural Extension. Special Issue* 2021. p. 83-91. DOI:https://journals.esciencepress.net/index.php/IJAE/article/download/3964/1960

24. Prylipko T.M., Koval T.V., Bukalova N.V. Biokhimichnyi i mikrobiolohichnyi kontrol yakosti kharchovykh produktiv. *Navchalnyi posibnyk. Kamianets-Podilskyi,* 2020, 653 s.

25. Prylìpko, T.M., Prylìpko, l.V.: Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects»* (Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016).

26. Chaharovskyi V. Stan vitchyznianoi molokopererobnoi haluzi. *IX Mizhnarodnyi molochnyi konhres: «Vyklyky, stratehii ta innovatsii molokopererobnoho biznesu 2016», 2−4 bereznia 2016 roku*. Kyiv, 2016. C. 35–40.

27.Ostap'iuk S.D. Vstanovlennia parametriv mikrobiolohichnykh ryzykiv u krytychnykh tochkakh kontroliu tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva pasteryzovanoho moloka. *Naukovyi zbirnyk NU «Lvivska politekhnika» «Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia».* 2016, № 77. S. 183–187.

28. Stoliarchuk P.H. Identyfikatsiia ta analiz mikrobiolohichnykh nebezpechnykh chynnykiv pry vyrobnytstvi molochnoi produktsii. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist» Kharkivskoi filii «Ukrainskoho naukovo-doslidnoho i navchalnoho tsentru problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti».* 2012, № 6. S.52–61.

УДК 664.661.2:005.591.6
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.14

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ В УКРАЇНІ

Горач О. О. *– доктор технічних наук,*
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002

Одним із способів реалізації державної політики в галузі здорового харчування населення України є розробка високоефективних технологій у переробних галузях АПК, пошук нових вітчизняних сировинних джерел та створення продуктів харчування нового покоління, збагачених ессенціальними мікронутрієнтами. Проведений аналіз світового досвіду виробництва безглютнової продукції дозволяє зробити висновок, що на сьогодні існує досить широкий вибір даної групи товарів, але основну частку на ринку безглютенових продуктів харчування в Україні займають продукти імпортного виробництва.

Фахівцями підприємств харчової промисловості доведено, що раціон харчування людини повинен включати понад шістсот взаємозбалансованих харчових речовин, що на практиці неможливо досягти при вживанні в їжу звичайних продуктів навіть за їх широкого розмаїття. У зв'язку з цим необхідно більш інтенсивно використовувати інновації в харчовій промисловості: складати та розробляти рецептури продуктів харчування нового покоління, ефективні чисельні методи, математичні моделі, алгоритми для реалізації новітніх інформаційних технологій у вигляді проблемно-орієнтованих програм для різних сфер виробничої діяльності, у тому числі при створенні нових харчових продуктів.

Аналіз виробництва безглютенової продукції функціонального призначення дозволяє зробити висновок, що на сьогоднішній день основну частку ринку безглютенових продуктів харчування в Україні займають вироби імпортного виробництва, що свідчить про актуальність розробки та впровадження вітчизняних технологій та рецептур виготовлення безглютенової продукції. Враховуючи світовий та вітчизняний досвід виробництва безглютенової продукції, можна сформувати проблеми та започаткувати їх вирішення на основі впровадження новітніх технологій, а також рецептур безпосередньо у виробництво на основі використанням вітчизняної сировини.

Необхідність забезпечення хворих на целіакію якісними та недорогими спеціалізованими продуктами вітчизняного виробництва на основі розробки новітніх прогресивних технологій та рецептур безглютенового виробництва з використання щорічно відновлюваної сировини є актуальним завданням сьогодення. Крім того, впровадження у вітчизняне виробництво інноваційних технологій з використанням рослинної вітчизняної сировини функціонального призначення для кафе, ресторанів та інших закладів громадського харчування є також актуальним завданням у зв'язку з розвитком туристичного бізнесу.

Ключові слова: *глютен, целіакія, технології, рецептура, виробництво.*

Gorach O. O. Problems and prospects of development of gluten-free food production in Ukraine

One of the ways to implement the state policy in the field of healthy nutrition of Ukraine is to develop highly efficient technologies in the processing industries, search for new domestic raw materials and create a new generation of food enriched with essential micronutrients. The analysis of the world experience in the production of gluten-free products allows us to conclude that today there is a wide choice of this group of products, but the main share in the market of gluten-free food in Ukraine is occupied by imported products.

Experts in the food industry have proven that the human diet should include more than six hundred mutually balanced nutrients, which in practice cannot be achieved by eating conventional foods, even with their wide variety. In this regard, it is necessary to make more intensive use of innovations in the food industry: to compile and develop new generation food recipes, efficient numerical methods, mathematical models, algorithms for implementing the latest information technology in the form of problem-oriented programs for various industries. Including, when creating new foods.

Analysis of the production of gluten-free functional products allows us to conclude that today the main share of the gluten-free food market in Ukraine is occupied by imported products, which indicates the relevance of development and implementation of domestic technologies and recipes for gluten-free products. Taking into account the world and domestic experience in the production of gluten-free products, it is possible to create problems and initiate their solution based on the introduction of new technologies and recipes directly into production based on the use of domestic raw materials.

The need to provide patients with celiac disease with quality and inexpensive specialized products of domestic production based on the development of the latest advanced technologies and recipes for gluten-free production using annually renewable raw materials is an urgent task today. In addition, the introduction of innovative technologies in the domestic production with the use of domestic raw materials for functional purposes for cafes, restaurants and other catering establishments is also an urgent task in connection with the development of the tourism business.

Key words: *gluten, celiac disease, technologies, recipe, production.*

Постановка проблеми. 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. Одним із способів реалізації державної політики в галузі здорового харчування населення України є розробка високоефективних технологій у переробних галузях АПК, пошук нових вітчизняних сировинних джерел та створення продуктів харчування нового покоління, збагачених ессенціальними мікронутрієнтами.

Метою дослідження є аналіз світового та вітчизняного досвіду виробництва безглютенової продукції з метою визначення основних тенденцій виробництва, а також виявити проблеми та започаткувати їх вирішення в умовах ринкової економіки та євроінтеграції України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Статистичні дані свідчать, що на сьогоднішній день 40% безглютенової продукції, споживають європейці. Найбільший попит безглютенова продукція має в Північній та Південній Америці і з кожним роком виробництво та споживання має тенденцію до зростання. На рис. 1 наведено розподіл попиту споживачів в світі на безглютенової продукції [1].

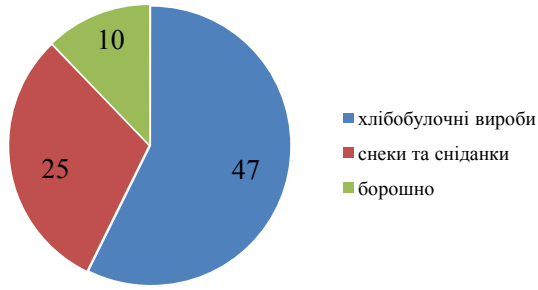


Рис. 1. Діаграма виробництва безглютенової продукції в світі, %

На сьогоднішній день, відомі результати проведених досліджень компанії Pro-Consulting, яка провела дослідження світового ринку глютену і продуктів переробки пшениці. У дослідженні розглядалися питання виробництва і зовнішньої торгівлі глютеном між різними країнами. Також були проведені дослідження з виробництва таких продуктів переробки пшениці, як крохмаль, глюкоза

і глюкозо-фруктозні сиропи, лізин, лимонна кислота. Додатково досліджувалася перспектива виробництва безглютенових продуктів в Україні [2; 3].

Світовий досвід виробництва безглютенових продуктів свідчить, що промисловий випуск безлютенових продуктів здійснюють такі фірми, як Dr. Shar (Італія), Glutano (Німеччина), Finax (Швеція), Moilas, Valio (Фінляндія) та ін. Вони пропонують досить широкий вибір продуктів для харчування хворих на целіакію – хліб, макаронні вироби, печиво, основи для піци, суміші для випічки та ін. Такі продукти запатентовані, їх відрізняє наявність на упаковці маркування «gluten-free».

На сьогоднішній день 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». Крім того, 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. В Україні існує дев'ять компаній, які мають ліцензоване європейське маркування. На рис. 2 зображено знак якості «Перекреслений колосок» на безглютенову продукцію.

Рис. 2 Знак якості «Перекреслений колосок»

Крім того, в Україні існує «Українська спілка целіакії», заснована в 2007 р., яка займається діагностикою споживачів з непереносимістю глютену та дозволяє визначити чи шкодить їм глютен, чи треба їм обстежуватися. «Українська спілка целіакії» офіційний член асоціації європейських спілок целіакії (AOECS) і правовласник торгової марки «Перекреслений колосок» (Crossed Grain TM), що гарантує якість та безпеку продукції без глютену на міжнародному рівні [4].

Потрібно відмітити, що в Україні розроблено та діє стандарт CODEX STAN 118-1979 на безглютенову продукцію, який містить нормовані показники якості такої продукції та дозволяє визначити вміст глютену. Відповідно до діючого стандарту, продукти не повинні містити глютен або повинні не перевищувати встановлену норму 20 мг/кг.

На сьогоднішній день, число людей, які страждають на целіакію та неперетравлення глютену в Україні, за даними вітчизняних дослідників, наближається до 400 тис. осіб; 47,5 тис. дітей мають розлад аутичного спектра, 19,69 тис. страждають від дитячого церебрального паралічу, діагноз «целіакія» встановлено в 2500 пацієнтів [5].

В табл. 1 подано ринок безглютенової продукції в Україні.

Аналізуючи дані табл. 1, можна зробити висновок, що на даний час, в Україні продаж та виробництво безглютенових продуктів лише набирає оберти. Переважна кількість виробників знаходиться у столиці. Більшість продуктів можна купити лише через інтернет-замовлення або знайти на полицях таких магазинів

Таблиця 1

Ринок безглютенової продукції в Україні

Виробники	Місто	Назва продукту
ТМ «Asparagus»	Київ	борошно соргове
ТОВ «Крохмалпродукти України»	Київ	крупа Саго
ТМ «Healthy Tradishion»	Київ	сухий сніданок «Raw Granola», поживні батончики без цукру з різними смаками
ТОВ «Ай да Бейкер»	Київ	печиво безглютенове «Кориця»
ТМ «Будьмо здорові»	Львів	печиво «Ванільне»
ТМ «Eat Well»	Київ	десерт «Манго – Маракуйя»
ТМ «Good Line»	Київ	кекс Десертний
ТОВ «Паніні»	Дніпро	спіральки кукурудзяні
ТМ «Сквирянка»	м. Сквира, Київська обл.	гречана і кукурудзяна крупа, гречані та кукурудзяні пластівці, гречане та кукурудзяне борошно
ТОВ «Агро-Юг-Сервіс»	м. Миколаїв	жорнове борошно

як «Сільпо», «Фозі», «Еко-лавка». 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, так у 2019 р. з'явилися перші виробники цієї продукції.

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 та впровадження нових прогресивних технологій та рецептур безглютенового виробництва хлібобулочних виробів з використання щорічно відновлюваної сировини. Крім того, впровадження у вітчизняне виробництво інноваційних технологій з використанням рослинної вітчизняної сировини функціонального призначення для кафе, ресторанів та інших закладів громадського харчування є актуальним завданням у зв'язку з розвитком туристичного бізнесу в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. 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

2. 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.

3. 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. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7315

4. https://celiac.org.ua

5. 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. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7867

REFERENCES:

1. Rynok bezghljutenovykh produktiv: velykyj potencial poky shhe spljachoji potreby [Gluten-free market: great potential for dormant needs]. URL: https://agravery.com/uk/posts/show/rinok-bezglutenovih-produktiv-velikij-potencial-poki-se-splacoi-potrebi

2. 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 tekhnologhij v aghropromyslovomu kompleksi: Materialy III Mizhnarodnoji naukovo-praktychnoji konferenciji (Ukraine, Melitopolj: TDATU, 2021) Melitopolj: TDATU, pp. 303-306.

3. 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 Vseukrajinsjkoji naukovo-praktychnoji konferenciji molodykh vchenykh z naghody Dnja pracivnyka siljsjkogho ghospodarstva (Ukraine, Kherson, 17 November 2021) Kherson, pp. 315-319. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7315

4. https://celiac.org.ua

5. 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]. Tavrijsjkyj naukovyj visnyk, № 6, pp. 94-100. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7867

УДК 633.111:664.64.016.8
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.15

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТРИТИКАЛЕ В ХЛІБОПЕКАРСЬКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Любич В. В. *– доктор сільськогосподарських наук, професор,*
професор кафедри харчових технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0003-4100-9063

Желєзна В. В. *– кандидат сільськогосподарських наук,*
доцент кафедри харчових технологій
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0002-1874-2155

Стратуца Я. С. *– аспірант кафедри харчових технологій*
Уманського національного університету садівництва
ORCID ID: 0000-0002-1485-1119

У статті наведено результати аналітичного огляду щодо переваг зерна тритикале в хлібопекарській промисловості. Тритикале – перспективна зернова культура, оскільки має підвищену морозостійкість в порівнянні з озимою пшеницею, стійкість до грибних і вірусних захворювань, не вимоглива до родючості ґрунту. Тритикале може успішно вирощуватися в тих же районах, що й озима пшениця і жито. Основним показником, що визначає цінність білкових речовин у зерні тритикале є клейковина, вміст якої становить до 34% залежно від сорту, а індекс деформації клейковини становить від 60 до 120 о. п. Вміст білка в зерні тритикале становить від 10,0 до 25,0% залежно від сорту. Вміст вуглеводів у зерні тритикале становить близько 70,0%, зокрема – крохмалю – 49–67%, цукрів – 3,3–4,9, клітковини – 2,7–3,2%. Встановлено, що в зерні тритикале вміст золи становить 1,69–2,35%.

Тритикале порівняно із зерном пшениці містить більший вміст вітамінів групи: В, РР, Е та провітамінного складу, зокрема вітаміну B_1 – 0,56, B_2 – 0,18 і РР – 4,2 мг/100 г. Зерно тритикале багате мінеральними речовинами, такимми як фосфор, калій, марганець, кальцій, натрій, кремній, сірка, хлор, окрім того в зерні присутні цинк, мідь, кобальт. Накопичуються мінеральні речовини переважно в алейроновому шарі й оболонках зерна. Зерно тритикале має збалансований амінокислотний склад, що характеризується значним вмістом глютамінової та аспарагінової кислот, проліну та лейцину. Продукти перероблення зерна тритикале добре засвоюються, що пояснюється високою перетравністю білка (до 90,3%).

Тритикале представляє великий інтерес для хлібопекарської галузі. У загальній проблемі тритикале належить вирішити завдання поліпшення якості зерна та ефективного використання його для виробництва хлібобулочних виробів і інших видів продуктів харчування.

Ключові слова: *тритикале, якість, білок, клейковина, борошно, хліб.*

Liubych V. V., Zheliezna V. V., Staratutsa Ya. S. Prospects of using triticale in the bakery industry

The article presents the results of an analytical review of the benefits of triticale grain in the baking industry. Triticale is a promising grain crop, as it has increased frost resistance compared to winter wheat, resistance to fungal and viral diseases, not demanding to soil fertility. Triticale can be successfully grown in the same areas as winter wheat and rye. The main indicator that determines the value of protein substances in triticale grain is gluten, the content of which is up to 34% depending on the variety. The deformation index of gluten is from 60 to 120 units of instrument. The protein content in triticale grain is from 10.0 to 25.0% depending on the variety. The content of carbohydrates in triticale grain is about 70.0%, in particular –

starch – 49–67%, sugars – 3.3–4.9, fiber – 2.7–3.2%. It was found that the ash content of triticale grain is 1.69–2.35%.

Compared to wheat grain, triticale contains a higher content of vitamins: B, PP, E and provitamin composition, vitamin B1 – 0.56, B2 – 0.18 and PP – 4.2 mg/100 g, in particular. Triticale grain is rich in minerals such as phosphorus, potassium, manganese, calcium, sodium, silicon, sulfur, chlorine. In addition, the grain contains zinc, copper, cobalt. Minerals accumulate mainly in the aleurone layer and grain shells. Triticale grain has a balanced amino acid composition, characterized by a significant content of glutamic and aspartic acids, proline and leucine. The products of triticale grain processing are well digested, which is due to the high protein digestibility (up to 90.3%).

Triticale is of great interest to the bakery industry. The general target of triticale is to solve the problem of improving grain quality and its efficient use for the production of bakery products and other foods.

Key words: *triticale, quality, protein, gluten, flour, bread.*

Постановка проблеми. Аналіз структури харчування населення в останнє десятиліття практично у всіх країнах світу виявив збільшення попиту на хлібобулочні вироби. Хліб вживається в їжу щодня і може виступати у ролі продукту, який має сприятливий вплив на діяльність підприємств життєзабезпечення систем організму людини. Тому закономірно, що в світовій практиці все більшого поширення набувають роботи по створенню зернових хлібобулочних виробів, що відрізняються підвищеним вмістом біологічно активних речовин і харчових волокон. За статистичними даними випуск даної групи виробів в даний час не перевищує 15,6% [1; 2].

При регулярному вживанні хліба з цілого зерна організм очищається від шлаків, канцерогенних і токсичних речовин, нормалізуються обмінні процеси, поліпшується моторика кишечника, знижується ризик захворювань серцево-судинної системи. Доведено також, що цільнозернові продукти сприяють зниженню рівня холестерину в крові. Тому створення технологій зернового хліба є актуальним і має важливе теоретичне і практичне значення [3; 4].

Перспективною культурою для розширення сировинної бази хлібопекарської промисловості в технології зернових хлібобулочних виробів є тритикале. Тритикале (*Triticosecale*) – відносно нова зернова культура, створена людиною шляхом гібридизації пшениці та жита. Тритикале має підвищену морозостійкість, в порівнянні з озимою пшеницею, стійкістю до грибних і вірусних захворювань. Вона не вимоглива до родючості ґрунту, хоча повністю свій потенціал, як і всі злаки, тритикале реалізує при високому агрономічному тлі ґрунту будь-якого типу. Тритикале може успішно вирощуватися в тих же районах, що і озима пшениця та жито. Основні країни-виробники зерна тритикале: Польща, Німеччина, Франція, Білорусія та Австралія [5; 6]. Тритикале представляє інтерес для хлібопекарської, кондитерської, пивоварної, спиртової, харчеконцентратної та інших галузей промисловості. У загальній проблемі тритикале належить вирішити завдання поліпшення якості зерна та ефективного використання його для виробництва хлібобулочних виробів і інших видів продуктів харчування [7].

Аналіз останніх досліджень. Вміст окремих компонентів хімічного складу зерна тритикале та його біохімічні показники в основному успадковуються по проміжному типу, але деякі з них відрізняються від вихідних форм [8]. Основним показником, що визначає цінність білкових речовин у зерні тритикале є клейковина, вміст якої змінюється від 4 до 34% залежно від сорту, а індекс деформації клейковини становить від 60 до 120 о. п. [1; 7; 10].

Для хлібопекарського виробництва важливі технологічні властивості, які багато в чому залежать від властивостей клейковинного комплексу тритикале,

успадкованого від пшениці – проламінової і глютелінової фракцій білка, що утворюють в процесі приготування тіста пружноеластичний каркас – клейковину [2; 9; 11]. Білок тритикале може містити: 26–28% водорозчинних білків, 7–8 – солерозчинних, 25–26 – спирторозчинних і 18–20% білків розчинних у кислоті [12]. Фракційний склад білків зерна тритикале змінюється в значних межах: альбуміни 16,7–36,3%, глобуліни 14,4–18,4, проламіни 7,3–26,0, глютеліни 22,9–31,1, нерозчинний осад 9,5–14,0 [13, 14]. Для порівняння доцільно привести дані про фракційному складі зерна пшениці Миронівська 808 і зерна жита Харківська 55: альбуміни 17,2 і 36,3, глобуліни 14,4 і 18,4, проламіни 23,8 і 7,3, глютеліни 34,2 і 22,9, нерозчинний залишок 10,2 і 14,0 [15]. Підвищений вміст водо- і солерозчинних фракцій білка в зерні тритикале, багатих незамінними амінокислотами, зумовлює високу його цінність, а тому має широкий спектр застосування в сільськогосподарському та промисловому виробництві [10; 12].

Таким чином, деякі особливості клейковини тритикале змушують дослідників розробляти способи поліпшення технологічних властивостей борошна з даної культури.

Мета статті – обґрунтування використання зерна тритикале в хлібопекарській промисловості.

Результати і обговорення. Тритикале містить у зерні на 2–3% більше повноцінного білка, що краще засвоюється порівняно з білком пшениці [16]. Вміст білка в зерні тритикале становить від 10,0 до 25,0% залежно від сорту [3; 7; 10; 16]. Продукти перероблення зерна тритикале добре засвоюються організмом людини, що пояснюється високою перетравністю білка (до 90,3%) [15]. Аналіз наукових джерел дає можливість стверджувати, що зерно тритикале має збалансований амінокислотний склад, що характеризується значним вмістом глютамінової та аспарагінової кислот, проліну та лейцину [4; 6].

Загальний вміст незамінних амінокислот в зерні тритикале становить 3731 мг/100 г проти 3257 і 2770 мг/100 г відповідно в зерні пшениці та жита. Загальний вміст замінних амінокислот у зерні тритикале становить 8663 мг/100 г проти 7452 і 6791 мг/100 г у зерні пшениці та жита. Вміст глютамінової кислоти в зерні тритикале, пшениці та жита становить відповідно 3670 мг/100 г 3106 і 2660 мг/100 г [16].

Тритикале займає проміжне місце між житом і пшеницею за вмістом лізину, лейцину та ізолейцину, поступаються за вмістом триптофану, перевищує за вмістом метіоніну, фенілаланіну, треоніну, валіну, аспарагінової кислоти, проліну та аланіну [17].

Вуглеводний комплекс будь-якої зернової культури входять вищі полісахариди (крохмаль, декстрини, клітковина, геміцелюлози), олігосахариди (дисахариди – мальтоза, сахароза, трисахариди – рафіноза) і невелика кількість моносахаридів – глюкоза, фруктоза [14].

За кількісним вмістом крохмалю зерно тритикале мало відрізняється від батьківських форм. Важливе технологічне значення має початкова температура клейстеризації крохмалю. Однак щодо неї для зерна тритикале думки дослідників розходяться. Деякі джерела стверджують, що температура початку клейстеризації крохмалю становить 58°С – 59,5°С, т. е. ближче до пшениці [18], інші – дають цифру, близьку до значення цієї величини у крохмалю жита – 56,5°С. Американськими вченими в дослідах з ізольованим крохмалем тритикале та пшениці було встановлено, що температура початку клейстеризації та руйнування крохмальних зерен у тритикале нижче, ніж у пшеничного борошна [19].

Крохмаль тритикале має більш низький вміст амілози, ніж крохмаль пшениці та жита. Відзначено також, що крохмаль тритикале менш схильний до механічних пошкоджень. Крохмаль у зерні тритикале накопичується у великих кількостях в ендоспермі та становить близько 85% його маси. До його складу входять два полісахариди: амілоза та амілопектин, що становлять відповідно 23–25% і 73–75% [17; 18]. Клейстеризований крохмаль тритикале за величиною відносної в'язкості близький до пшеничного, але в той же час, максимум в'язкості досягається швидше і при більш низькій температурі. Це має велике значення для ферментативного гідролізу крохмалю в м'якушці хліба при випічці [19]. Важливе значення мають крупність та цілісність крохмальних зерен, так як це впливає на консистенцію тіста та вміст у ньому цукрів. Низкою авторів [11; 15; 20] зазначено, що в зерні тритикале зустрічаються як дрібні, так і великі зерна крохмалю. А в цілому, за величиною крохмальних зерен тритикале займає проміжне положення між пшеницею та житом [20].

Вміст вільних цукрів у зерні тритикале більший, ніж у пшениці, а вміст пентозанів знаходиться на одному рівні з пшеницею або трохи вищий. Склад вільних цукрів характеризується наявністю до 3,0% спирторозчинних цукрів, з яких близько 70,0% складають олігосахариди, до 7,0% – фруктоза. Вміст глюкози варіює від 2,0% до 3,0%, мальтози – від 4,0% до 8,0%. Загальний вміст вільних цукрів може досягати 5,0%, тобто більше, ніж у пшениці і близько до величини цього показника для жита [21]. Вміст вуглеводів у зерні тритикале становить близько 70,0%, зокрема – крохмалю – 49–67%, цукрів – 3,3–4,9, клітковини – 2,7–3,2% [20].

Перетравність поживних речовин залежить від кількості клітковини. Чим вищий вміст клітковини, тим енергетична цінність продуктів нижча. Клітковина у зерні тритикале є складовою полісахаридів, що входить до складу клітинних стінок. Вона становить від 6 до 12% маси його зернівки [22]. Встановлено, що в зерні тритикале вміст золи становить 1,69–2,35% [2; 3; 17; 20].

Тритикале порівняно із зерном пшениці містить більший вміст вітамінів групи: В, РР, Е та провітамінного складу, зокрема вітаміну B_1 – 0,56, B_2 – 0,18 і РР – 4,2 мг/100 г [2; 5; 14; 18]. Вміст β-каротину в тритикале і пшениці становить відповідно 0,015 і 0,014 мг/100 г, флоацину – відповідно 37,3 мкг і 35,0 мкг, холіну – 36,0 мг і 90,0 мг [23].

Вміст основних мінеральних речовин у зерні складає: фосфору – 750–800 мг%, калію – 500–550 мг%, марганцю – 180–220 мг%, кальцію – 40–60 мг%, натрію – 30–40 мг%, кремнію – 30–40 мг%, сірки й хлору – близько 10 мг%; окрім того в зерні присутні цинк, мідь, кобальт [24]. Накопичуються мінеральні речовини переважно в алейроновому шарі й оболонках зерна.

Відомо, що цільове використання сировини зумовлено показниками маси 1000 зерен, склоподібності та натури. Доведено, що маса 1000 зерен характеризує запас поживних речовин у зернівках. У рівних умовах зерно з підвищеною масою 1000 зерен має більш розвинений ендосперм. Тритикале характеризується високою масою 1000 зерен, яка може змінюватись від 36,0 г до 53,0 г [3; 7; 11; 13; 25].

За натурою зерно тритикале поступається пшениці. Так, цей показник у пшениці становить 785–810 г/л, а в тритикале знаходиться в межах 560–767 г/л [8; 11; 20; 26; 27]. Нижча натура зерна тритикале порівняно із зерном пшениці зумовлена більшою довжиною його зернівки та меншою сферичністю [26; 27].

Геометричні розміри зерна тритикале істотно залежать від сорту та умов вирощування. Довжина зернівки тритикале варіює від 5,0 до 10,0 мм, ширина – від 1,4 до 3,6, товщина – від 1,2 до 3,5 мм [12; 28]. Зерно тритикале за виповненістю

наближається до пшениці [26]. Так, порівняно з пшеницею, тритикале має в 1,4 рази більший об'єм зернівки [27].

Встановлено, що під час фракціонування зерна тритикале схід сита 3,0×20 мм становить від 5,9 до 43,3%; схід сита 2,5×20 мм – від 3,5 до 14,0; схід сита 2,0×20 мм – від 0,2до 8,0; схід сита 1,7×20 мм – від 0,2 до 2,4% [29].

Дослідженнями Г. А. Єгорова [30] встановлено, що вміст ендосперму в крупній фракції вищий (83,5%) порівняно з дрібною (72,5%). Зменшення крупності зерна істотно знижує вихід цілого ядра внаслідок збільшення кількості оболонок. Натура зерна крупної фракції становить 757 г/л, середньої – 746, дрібної – 684 г/л, а маса 1000 зерен – відповідно 44 г, 33 і 21 г [31].

Показниками якості зерна тритикале визначається діапазон його використання. Нині якість зерна слід розглядати в аспектах з погляду його харчової цінності, що залежить від вмісту та якості білка та його технологічних властивостей. Вона також складається із багатьох ознак, що визначаються видовими та сортовими особливостями, фізичними характеристиками та хімічними показниками [11].

Важливо відзначити, що при виробництві борошна із зерна тритикале створення особливих технологічних умов для його розмелу не потрібно. Переробляти зерно тритикале можна на борошномельних заводах сортового житнього помелу, без зміни технологічної схеми. Рекомендується лише подовжити протяжність драного і розмельного процесів на одну систему кожен [32]. Борошно тритикале відмінно підходить для тіста без дріжджів, при приготуванні печива, крекерів. У США її застосовують при випічці цукрового, вівсяного, кокосового і шоколадного печива, тортів, пончиків, приготуванні оладок, млинців, вафель, макаронних виробів, кексів [33].

Автори [34] констатують, що існує ряд специфічних властивостей тритикале, що мають значення з точки зору споживчого його використання. До них відносяться аномалії в будові зерна, зморщені зернівки, низька якість клейковини, підвищена кількість розчинних у воді білків, більш висока ферментативна активність і схильність до проростання. Ці властивості тритикале безпосередньо впливають на процес помелу та якість хліба.

Випічка хліба з тритикалевого борошна в Угорщині в виробничих умовах показала, що борошно типу сіяного дає хліб високої якості, проміжний за своїми властивостями між пшеничним і житнім [34]. Борошно тритикале є сировиною для виробництва кондитерських виробів, перспективними є печиво, торти, сухарі. Борошно з тритикале можна використовувати для виробництва сухих сніданків, паличок і дієтичного хліба, включаючи зерновий хліб та хрусткі хлібці [35].

Доведено, що якість хліба, виготовленого із суміші борошна пшениці та тритикале (до 50–70%), майже подібна до пшеничного продукту [36]. У той же час є багато свідчень про успішне використання борошна різних гібридних сортів у складі збагачувальних добавок [37]. Aprodu I. та ін. [38] запропонували метод, який передбачає змішування зерен різних злаків, у тому числі тритикале, з наступним подрібненням у вальцьовому млині для отримання багатокомпонентної борошняної суміші. Багатокомпонентну суміш можна використовувати для приготування хлібобулочних виробів.

Дослідження зарубіжних вчених також свідчать про перспективність використання тритикале для продовольчих цілей. Найбільш широко дослідження проводяться в Польщі, США, Німеччини, Англії, Австралії і т. д. [39]. Польськими вченими розроблені технології, що дозволяють отримати вироби з борошна тритикале без додавання пшеничного. Ними встановлено ефективність приготування тіста

трьох етапним способом (закваска – опара – тісто). Готові вироби мали сухіший і розпушений м'якуш, в порівнянні з хлібом, отриманим двох етапним способом (закваска – тісто). У Польщі печуть житній хліб на основі особливого ферментативного тіста з добавкою тритикалевого борошна. Європейці охоче купують хліб із суміші пшеничного, тритикалевого та соєвого борошна. В Америці запатентований спосіб приготування хліба з високим вмістом клітковини, причому борошно складається з заваленої лушпиння гороху і зерна тритикале [39; 40].

Незважаючи на численні дослідження використання тритикале в хлібопекарській промисловості, нині, недостатньо інформації про властивості та цільове застосування окремих сортів і гібридів цієї культури, враховуючи вплив регіону вирощування тритикале. Технологічні способи переробки зерна тритикале в харчові продукти також не повністю розроблені.

Нині, коли з'явилися нові сорти тритикале, врожайні, з поліпшеними якостями зерна, доцільно продовжити наукові дослідження в цьому напрямку. Потенційна вигода використання хлібної високоврожайної культури, що відрізняється цінними біохімічними властивостями для вироблення хлібобулочних виробів є перспективною.

Висновки. Тритикале – є перспективною зерновою культурою для використання в хлібопекарській промисловості, оскільки має підвищену морозостійкість, в порівнянні з озимою пшеницею, стійкість до грибних і вірусних захворювань, не вимоглива до родючості ґрунту. Тритикале може успішно вирощуватися в тих же районах, що і озима пшениця та жито. Основним показником, що визначає цінність білкових речовин у зерні тритикале є клейковина, вміст якої становить до 34% залежно від сорту, а індекс деформації клейковини становить від 60 до 120 о. п. Вміст білка в зерні тритикале становить від 10,0 до 25,0% залежно від сорту. Вміст вуглеводів у зерні тритикале становить близько 70,0%, зокрема – крохмалю – 49–67%, цукрів – 3,3–4,9, клітковини – 2,7–3,2%. Встановлено, що в зерні тритикале вміст золи становить 1,69–2,35%. Тритикале порівняно із зерном пшениці містить більший вміст вітамінів групи: В, РР, Е та провітамінного складу, зокрема вітаміну В1 – 0,56, В2 – 0,18 і РР – 4,2 мг/100 г. Зерно тритикале багате мінеральними речовинами, такими як фосфор, калій, марганець, кальцій, натрій, кремній, сірка, хлор, окрім того в зерні присутні цинк, мідь, кобальт. Накопичуються мінеральні речовини переважно в алейроновому шарі й оболонках зерна.

Продукти перероблення зерна тритикале добре засвоюються, що пояснюється високою перетравністю білка (до 90,3%). Тритикале представляє великий інтерес для хлібопекарської галузі. У загальній проблемі тритикале належить вирішити завдання поліпшення якості зерна та ефективного використання його для виробництва хлібобулочних виробів і інших видів продуктів харчування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Martinek P. Agronomic and Quality Characteristics of Triticale (*X Triticosecale Wittmack*) with HMW Glutenin Subunits 5+10. *Journal of Cereal Science.* 2008. 47. P. 68–78.

2. Fraś A. Variability in the Chemical Composition of Triticale Grain, Flour and Bread. *Journal of Science*. 2016. 71. P. 66–72.

3. Любич В. В., Желєзна В. В., Грабова Д. М. Якість кексів з тритикале, збагаченого пастою гарбузовою. *Збірник Уманського НУС*. 2021. Вип. 99. С. 17–28.

4. Gil Z. Effect of Physical and Chemical Properties of Triticale Grain on its Milling Value. *Plant Breeding and Plant Science*. 2002. 46. P. 23–29.

5. Kandrokov R. H., Pankratov G. N., Meleshkina E. P. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour. *Foods and Raw Materials*. 2019. V. 7(1). P. 107–117.

6. Esra A. Ç., Ugur B. K. Grain yield and quality of triticale lines. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2010. 8(2). P. 558–564.

7. Dennett A. L., Trethowan R. M. The influence of dual-purpose production on triticale grain quality. *Cereal ResearchCommunications*. 2013. vol. 41(3). P. 448–457.

8. Tayyar S. Some Chemical and Technological Properties of Turkish Triticale (*Triticosecale* Wittm.) Genotypes. *Romanian Biotechnological Letters.* 2014. № 19. P. 9891–9898.

9. Зайцев О., Ковальов В. Нові сорти тритикале: морфобіологічні і технологічні особливості. *Пропозиція.* 2003. № 11. С. 50–52.

10. Господаренко Г. М., Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна тритикале ярого за різних норм і строків внесення азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2010. № 1. С. 6–9.

11. Liubych V., Novikov V., Zheliezna V., Prykhodko V., Petrenko V., Khomenko S. et al. Improving the process of water-heat treatment and peeling of different fractions of grain triticale during the production of cereals. *Easten-european journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 3, No 11 (99). P. 40–51.

12. Сухомуд О. Г., Любич В. В. Вміст клейковини в зерні тритикале ярого залежно від рівня азотного живлення. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2013. № 2 (38). 8 с.

13. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В., Починок В. М. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Физиология растений и генетика.* 2015. Т. 47. № 2. С. 95–111.

14. Каленська С. М., Блажевич М. Ю., Кравченко Л. О. Фізичні та технологічні властивості зерна тритикале ярого залежно від абіотичних і біологічних факторів. *Наукові доповіді НУБіП*. 2010. Вип. 18. С. 25.

15. Любич В. В., Новіков В. В. Порівняльна характеристика технологічних властивостей зерна тритикале озимого та пшениці озимої. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. № 4. С. 14–18.

16. Бажай-Жежерун, С. А, Береза-Кіндзерська Л.В. Біологічне активування зерна тритикале. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31 (70). № 2. С. 73–78

17. Васильєв С. В. Народногосподарське значення тритикале та перспективи його використання для розширення сировинної бази харчових виробництв. *Зернові продукти і комбікорми*. 2016. Vol. 62. С. 13–18.

18. Rakha A., Aman P., Andersson R. Rheological characterisation of aqueous extracts of triticale grains and its re-lation to dietary fibre characteristics. *Journal of Cereal Science*. 2013. Vol. 57. №. 2. P. 230–236.

19. Щипак Г., Панченко І., Доскоч І. Нові сорти тритикале: морфобіологічні і технологічні особливості. *Пропозиція.* 2003. № 11. С. 50–55.

20. Щипак Г. В., Щипак В. Г., Вось Х. Раритетне зібрання. Створено сорти зі стабільно високими хлібопекарськими властивостями. *Зерно.* 2019. № 7 (160). С. 58–64.

21. Любич В. В. Сучасні досягнення круп'яного виробництва. *Вісник Уманського НУС*. 2021. №1. С. 78–82.

22. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В. та інш. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47. № 2. С. 95–111.

23. Любич В. В., Желєзна В. В., Костецька К. В. Порівняльна характеристика технологічних властивостей зерна 4-видового тритикале. *Вісник Уманського НУС*. 2021. №2. С. 63–68.

24. Leonova S., Badamshina E., Koshchina E., Kalugina O., Gareeva I., Leshchenko N. Triticale flour in bakery and rusk products. *Food Sci Technol Int*. 2021 Jun 16. Article number 10820132211023273.

25. Rimareva L.V. Fursova N.A., Sokolova E.N., Volkova G.S., Borshova Y.A., Serba E.M., Krivova A.Y. Biodegradation of proteins of grain raw materials for the production of new bakery products. *Vopr Pitan*. 2018. Vol. 87(6). P. 67–75.

26. Властовий О. В. Властивості зерна тритикале. *Агрохолдінг союз: інтернет-журн*. 2008. Вип. 1. 8 с.

27. Лісничий В., Рябчун В., Панченко І. Яре тритикале відрізняється високою пружністю клейковини. *Зерно і хліб*. 2010. № 3. С. 40–43.

28. Любич В. В., Желєзна В. В., Уляніч І. Ф. Геометрична характеристика зерна тритикале залежно від сорту. *Агробіологія.* 2018. №1 (138). С. 164–171.

29. Дмитрук Є. А., Любич В. В., Новіков В. В Фракційний склад та деякі фізичні характеристики нерухомого шару зерна тритикале. *Наукові праці НУХТ*. 2015. № 6. С.48–53.

30. Любич В. В. Селекційна цінність нових сортів тритикале ярого. *Збірник Уманського НУС*. 2021. Вип. 97. С. 3–11.

31. Kweon M., Slade L., Levine H., Gannon D. Cookie-versus cracker-baking what's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2014. Vol. 54(1). P. 115–138.

32. Bona L., Acs E., Lantos C., Tomoskozi S., Lango B. Human utilization of triticale: technological and nutritional aspects. *Commun Agric Appl Biol Sci*. 2014. Vol. 79(4). P. 139–152.

33. Pattison A. L., Appelbee M., Trethowan R. M. Characteristics of Modern Triticale Quality: Glutenin and Secalin Subunit Composition and Mixograph Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Vol. 62 (21). P. 4924–4931.

34. Zhukov A. M., Anosova M. V., Popov I. A. Triticale. The techniques of cultivation and processing. *Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 422(1). P. 255–261.

35. Kandrokov R. H., Pankratov G. N., Meleshkina E. P. Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale L*.) grain into graded flour. *Foods and Raw Materials*. 2019. Vol. 7 (1). P. 107–117.

36. Tohver M., Kann A., Täht R. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in Northern conditions. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 89(1). P. 125–132.

37. Torbica A., Blažek K. M., Belović M. Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology. *Journal of Cereal Science*. 2019. Vol. 89. 102–108.

38. Aprodu I., Horincar G., Andronoiu D. Technological performance of various flours obtained through multigrain milling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019. Vol. 55. P. 27–34.

39. Fardet A. Complex foods versus functional foods, nutraceuticals and dietary supplements: Differential health impact (part 1). *Agro FOOD Industry Hi Tech.* 2015. Vol. 26 (2). P. 20–24.

40. Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 241. P. 468–479.

REFERENCES:

1. Martinek, P. (2008). Agronomic and Quality Characteristics of Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) with HMW Glutenin Subunits 5+10. *Journal of Cereal Science,* 47, 68–78.

2. Fraś, A. (2016). Variability in the Chemical Composition of Triticale Grain, Flour and Bread. *Journal of Science*, 71, 66–72.

3. Liubych, V. V., Zheliezna, V. V., Hrabova, D. M. (2021). Yakist keksiv z trytykale, zbahachenoho pastoiu harbuzovoiu [Quality of triticale cakes enriched with pumpkin

paste]. *Zbirnyk Umanskoho NUS – Collection of Uman NUS*, 99, 17–28. [in Ukrainian].

4. Gil, Z. (2002). Effect of Physical and Chemical Properties of Triticale Grain on its Milling Value. *Plant Breeding and Plant Science*, 46, 23–29.

5. Kandrokov, R. H., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P. (2019). Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour. *Foods and Raw Materials*, 7(1), 107–117.

6. Esra, A. Ç., Ugur, B. K. (2010). Grain yield and quality of triticale lines. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8(2), 558–564.

7. Dennett, A. L., Trethowan, R. M. (2013). The influence of dual-purpose production on triticale grain quality. *Cereal ResearchCommunications*, 41(3), 448–457.

8. Tayyar, S. (2014). Some Chemical and Technological Properties of Turkish Triticale (*Triticosecale* Wittm.) Genotypes. *Romanian Biotechnological Letters,* 19, 9891–9898.

9. Zaitsev, O., Kovalov, V. (2003). Novi sorty trytykale: morfobiolohichni i tekhnolohichni osoblyvosti [New varieties of triticale: morphobiological and technological features]. *Propozytsiia – Proposal*, 11, 50–52. [in Ukrainian].

10. Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V. (2010). Khlibopekarski vlastyvosti zerna trytykale yaroho za riznykh norm i strokiv vnesennia azotnykh dobryv [Baking properties of spring triticale grain at different rates and terms of nitrogen fertilizers]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 6–9. [in Ukrainian].

11. Liubych, V., Novikov, V., Zheliezna, V., Prykhodko, V., Petrenko, V., Khomenko, S. et al. (2020). Improving the process of water-heat treatment and peeling of different fractions of grain triticale during the production of cereals. *Easten-european journal of enterprise technologies*, 3, 11 (99), 40–51.

12. Sukhomud, O. H., Liubych, V. V. (2013). Vmist kleikovyny v zerni trytykale yaroho zalezhno vid rivnia azotnoho zhyvlennia [Gluten content in spring triticale grain depending on the level of nitrogen nutrition]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NULES of Ukraine*, 2 (38), 8. [in Ukrainian].

13. Rybalka, O. I., Morhun, V. V., Morhun, B. V., Pochynok, V. M. (2015). Ahronomichnyi potentsial i perspektyvy trytykale [Agronomic potential and prospects of triticale]. Fyzyolohyia rastenyi y henetyka – Plant physiology and genetics, 47(2), 95–111. [in Ukrainian].

14. Kalenska, S. M., Blazhevych, M. Yu., Kravchenko, L. O. (2010). Fizychni ta tekhnolohichni vlastyvosti zerna trytykale yaroho zalezhno vid abiotychnykh i biolohichnykh faktoriv [Physical and technological properties of spring triticale grain depending on abiotic and biological factors]. *Naukovi dopovidi NUBiP – Scientific reports of NULES*, 18, 25. [in Ukrainian].

15. Liubych, V. V., Novikov, V. V. (2015). Porivnialna kharakterystyka tekhnolohichnykh vlastyvostei zerna trytykale ozymoho ta pshenytsi ozymoi [Comparative characteristics of technological properties of winter triticale grain and winter wheat]. *Zernovi produkty i kombikormy – Cereals and animal feeds*, 4, 14–18. [in Ukrainian].

16. Bazhai-Zhezherun, S. A, Bereza-Kindzerska, L.V. (2020). Biolohichne aktyvuvannia zerna trytykale [Biological activation of triticale grain]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho – Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky*, 31 (70), 73–78. [in Ukrainian].

17. Vasyliev, S. V. (2016). Narodnohospodarske znachennia trytykale ta perspektyvy yoho vykorystannia dlia rozshyrennia syrovynnoi bazy kharchovykh vyrobnytstv [The economic value of triticale and prospects for its use to expand the raw material base of food production]. *Zernovi produkty i kombikormy – Cereals and animal feeds*, 62, 13–18. [in Ukrainian].

18. Rakha, A., Aman, P., Andersson, R. (2013). Rheological characterisation of aqueous extracts of triticale grains and its relation to dietary fibre characteristics. *Journal of Cereal Science*, 57, 2, 230–236.

19. Shchypak, H., Panchenko, I., Doskoch, I. (2003). Novi sorty trytykale: morfobiolohichni i tekhnolohichni osoblyvosti [New varieties of triticale: morphobiological and technological features]. *Propozytsiia – Proposal*, 11, 50–55. [in Ukrainian].

20. Shchypak, H. V., Shchypak, V. H., Vos, Kh. (2019). Rarytetne zibrannia. Stvoreno sorty zi stabilno vysokymy khlibopekarskymy vlastyvostiamy [Varieties with consistently high baking properties have been created]. *Zerno – Grain*, 7 (160), 58–64. [in Ukrainian].

21. Liubych, V. V. (2021). Suchasni dosiahnennia krupianoho vyrobnytstva [Modern achievements of cereal production]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of Uman NUS*, 1, 78–82. [in Ukrainian].

22. Rybalka, O. I., Morhun, V. V., Morhun, B. V. (2015). Ahronomichnyi potentsial i perspektyvy trytykale [Agronomic potential and prospects of triticale]. *Fyzyolohyia rastenyi y henetyka – Plant physiology and genetics*, 47(2), 95–111. [in Ukrainian].

23. Liubych, V. V., Zheliezna, V. V., Kostetska, K. V. (2021). Porivnialna kharakterystyka tekhnolohichnykh vlastyvostei zerna 4-vydovoho trytykale [Comparative characteristics of technological properties of 4-species triticale grain]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of Uman NUS*, 2, 63–68. [in Ukrainian].

24. Leonova, S., Badamshina, E., Koshchina, E., Kalugina, O., Gareeva, I., Leshchenko, N. (2021). Triticale flour in bakery and rusk products. *Food Sci Technol Int*, 16. Article number 10820132211023273.

25. Rimareva, L.V. Fursova, N.A., Sokolova, E.N., Volkova, G.S., Borshova, Y.A., Serba, E.M., Krivova, A.Y. (2018). Biodegradation of proteins of grain raw materials for the production of new bakery products. *Vopr Pitan*, 87(6), 67–75.

26. Vlastovyi, O. V. (2008). Vlastyvosti zerna trytykale [Properties of triticale grain]. *Ahrokholdinh soiuz: internet-zhurn – Agroholding Union: online journal*, 1, 8. [in Ukrainian].

27. Lisnychyi, V., Riabchun, V., Panchenko, I. (2010). Yare trytykale vidrizniaietsia vysokoiu pruzhnistiu kleikovyny [Yarn triticale has a high elasticity of gluten]. *Zerno i khlib – Grain and bread*, 3, 40–43. [in Ukrainian].

28. Liubych, V. V., Zheliezna, V. V., Ulianych, I. F. (2018). Heometrychna kharakterystyka zerna trytykale zalezhno vid sortu [Geometric characteristics of triticale grain depending on the variety]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*, 1 (138), 164–171. [in Ukrainian].

29. Dmytruk, Ye. A., Liubych, V. V., Novikov, V. V. (2015). Fraktsiinyi sklad ta deiaki fizychni kharakterystyky nerukhomoho sharu zerna trytykale [Fractional composition and some physical characteristics of the fixed layer of triticale grain]. *Naukovi pratsi NUKhT – Scientific works of NUHT*, 6, 48–53. [in Ukrainian].

30. Liubych, V. V. (2021). Selektsiina tsinnist novykh sortiv trytykale yaroho [Selection value of new varieties of spring triticale]. *Zbirnyk Umanskoho NUS – Collection of Uman NUS*, 97, 3–11. [in Ukrainian].

31. Kweon, M., Slade, L., Levine, H., Gannon, D. (2014). Cookie-versus cracker-baking what's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 54(1), 115–138.

32. Bona, L., Acs, E., Lantos, C., Tomoskozi, S., Lango, B. (2014). Human utilization of triticale: technological and nutritional aspects. *Commun Agric Appl Biol Sci*, 79(4), 139–152.

33. Pattison, A. L., Appelbee, M., Trethowan, R. M. (2014). Characteristics of Modern Triticale Quality: Glutenin and Secalin Subunit Composition and Mixograph Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (21), 4924–4931.

34. Zhukov, A. M., Anosova, M. V., Popov, I. A. (2020). Triticale. The techniques of cultivation and processing. *Conference Series Earth and Environmental Science*, 422(1), 255–261.

35. Kandrokov, R. H., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P. (2019). Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale L.*) grain into graded flour. *Foods and Raw Materials*, 7 (1), 107–117.

36. Tohver, M., Kann, A., Täht, R. (2005). Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in Northern conditions. *Food Chemistry*, 89(1), 125–132.

37. Torbica, A., Blažek, K. M., Belović, M. (2019). Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology. *Journal of Cereal Science*, 89, 102–108.

38. Aprodu, I., Horincar, G., Andronoiu, D. (2019). Technological performance of various flours obtained through multigrain milling. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, 27–34.

39. Fardet, A. (2015). Complex foods versus functional foods, nutraceuticals and dietary supplements: Differential health impact (part 1). *Agro FOOD Industry Hi Tech,* 26 (2), 20–24.

40. Zhu, F. (2018). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, 241, 468–479.

УДК 664.95.022–021.633:664.38:664.094.941
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.16

ПРОДУКТИ, ОТРИМАНІ ШЛЯХОМ ПЕРЕРОБКИ РИБНОЇ СИРОВИНИ, ТА МЕТОДИ ЇХ ВИДІЛЕННЯ

Олійник М. І. *– аспірантка*
Одеської національної академії харчових технологій
ORCID ID: 0000-0002-1103-2628

Переробка промислових риб супроводжується утворенням вторинних ресурсів, область практичного застосування яких досить широка (рибні білки є унікальним природним матеріалом, що застосовується в різних галузях промисловості – харчової, мікробіологічної, медичної та ін.), але не використовується повною мірою. Відходи, що утворюються в результаті переробки риб, є джерелом цінних харчових та біологічно активних речовин, внаслідок чого служать сировиною для отримання різних продуктів, у тому числі й біологічно активних добавок.

Метою статті є аналіз технологій переробки, методи виділення та отримання продуктів з вторинної рибної сировини.

Сучасне виробництво рибопродукції супроводжується великою кількістю білокмісних відходів, що становлять від 30 до 70% від маси вихідної сировини. Науковцями розроблено ряд технологій виділення колагену та переробки рибної сировини. Розвиток теоретичних і практичних основ технологій в умовах раціонального використання основних і вторинних ресурсів рибного походження актуально в умовах чинної екологічної напруженості і проблем дефіциту вітчизняних аналогів високотехнологічних матеріалів на основі білків сполучних тканин гідробіонтного походження.

Білокмісні відходи характеризуються високими поживними властивостями, є джерелом колагену та продуктів його гідролізу, які отримають за допомогою хімічного та ферментативного гідролізу. Традиційні технології не є ефективними, тому науковцями запропоновано інноваційні методи та технології отримання протеїнів, які в свою чергу будуть меншою мірою впливати на вихідні властивості продуктів, виділених з вторинної рибної сировини.

М'ясо гідробіонтів багате на незамінні амінокислоти, вітаміни, мікроелементи і є повноцінною сировиною для виробництва харчових білкових гідролізатів та найбільш цінним джерелом протеїнів з економічної та екологічної позицій. Пошук нових технологій – актуальне завдання, зважаючи на все більше використання рибного колагену.

Ключові слова: *вторинна рибна сировина, білкові продукти, колаген, гідробіонти, гідролізати, безвідходна переробка, гідроліз.*

Oliinyk M. I. Products obtained by processing fish raw materials and methods for their isolation

Processing of industrial fish is accompanied by the formation of secondary resources, the field of practical application of which is quite wide (fish proteins are a unique natural material used in various industries – food, microbiological, medical, etc.), but not fully used. Wastes from fish processing are a source of valuable nutrients and biologically active substances, and therefore serve as raw materials for various products, including biologically active additives.

The aim of the article is to analyze processing technologies, methods of isolation and receiving of secondary fish raw materials.

Modern fish production is accompanied by a large amount of protein-containing waste, ranging from 30 to 70% by weight of raw materials. Scientists have developed a number of technologies for collagen isolation and processing of fish raw materials. Development of theoretical and practical bases of technologies in the conditions of rational use of the basic and secondary resources of a fish origin is actual in the conditions of current ecological tension and problems of deficit of domestic analogues of high-tech materials on the basis of proteins of connective tissues of an aquatic origin.

Protein-containing wastes are characterized by high nutritional properties, are a source of collagen and its hydrolysis products, which will be obtained by chemical and enzymatic hydrolysis. Traditional technologies are not effective, so scientists have proposed innovative methods and technologies for obtaining proteins, which in turn will have less effect on the initial properties of products isolated from secondary fish raw materials.

The meat of aquatic organisms is rich in essential amino acids, vitamins, trace elements and is a valuable raw material for the production of dietary protein hydrolysates and the most valuable source of protein from an economic and environmental point of view. The search for new technologies is an urgent task, given the increasing use of fish collagen.

Key words: *fish raw materials, protein products, collagen, aquatic organisms, hydrolysates, waste-free processing, hydrolysis.*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку людства проблема забезпечення населення продуктами харчування набуває все більшої актуальності. Це пов'язано з нераціональним використанням наявних земельних ресурсів, їх виснаженням, забрудненням та загальним забрудненням біогеосфери. Існуючі технології переробки відходів від обробки риб, птахів і тварин, спрямовані на отримання з них нутрієнтів: білків, ліпідів, вуглеводів, мінеральних і біологічно-активних речовин (БАД), не завжди здатні забезпечити безвідходність процесу при збереженні високої якості продуктів, що отримуються. Це обумовлено неповним вилученням нутрієнтів з сировини при її обробці в щадних умовах (під дією слабо концентрованих розчинів кислот, лугів, поверхнево-активних речовин (ПАР) або ферментів), або денатурацією та погіршенням якості нутрієнтів при дії концентрованих кислот, лугів, розчинників та високих температур. Внаслідок чого неминуче забруднення навколишнього середовища екстрагуючими агентами та великими обсягами промивних вод [1, с. 109].

Аналіз науково-технічної і патентної літератури показав актуальність розробки прогресивних технологій переробки вторинної рибної сировини для промислових виробництв. Одержання колагенових концентратів (продуктів обробки) з відходів від обробки є актуальним напрямом переробки вторинної рибної сировини, оскільки дозволяє знизити екологічні навантаження, що не використовуються, і отримати цінні продукти – біологічно активні речовини: колаген, глюкозамін, хондроїтинсульфат, поліненасичені жирні кислоти, фосфоліпідів, мінеральних преціапітатів та ін., фізіологічна роль яких обумовлена їх здатністю впливати на обмінні процеси, формувати тканини організму людини, а також надавати профілактичну дію й виступати у якості загальнозміцнюючих засобів. Глибока переробка гідробіонтів сприяє отриманню не тільки якісного рибного білка, але і асортименту високомінералізованої цінної сировини [1, с. 109; 2, с. 129-146].

З економічної точки зору найкращим джерелом білків (протеїнів) є вторинна сировина, побічні продукти і відходи виробництва (шкіра, луска, кістки, плавники). Підвищення темпів виробництва та обсягів випуску рибної продукції пов'язане з вдосконаленням і створенням технологій комплексного використання вторинних ресурсів, таких як відходи від переробки гідробіонтів [3, с. 1-11].

В даний час у світовому балансі частка харчових тваринних білків, отриманих з гідробіонтів, становить 25%, що значно знижує білковий голод великої частини населення Землі. Колаген рибного походження останнім часом привертає дедалі більшу увагу через часте використання цього унікального біополімеру у харчовій промисловості – рибний колаген є гіпоалергенним, так як на 96% є ідентичним колагену людини і має імуностимулюючу, гепатотропну дію, а також виражений остеотропний ефект [4, с. 86-96]. Раціонально використовувати ці біоресурси традиційними технологічними методами неможливо, тому необхідно розробляти і впроваджувати у промисловість нові ефективні напрямки переробки сировини на основі комплексної безвідходної, ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології.

Особливо перспективною є можливість виробництва з вторинних ресурсів гідробіонтів БАД і функціональних продуктів харчування, так як вторинні ресурси

окрім того, що містять білки, вітаміни, мінерали є й джерелами поліненасичених жирних кислот, у тому числі Омега-3 [5, p. 991-996].

З відходів переробки гідробіонтів, у тому числі риби, що добувається в морях і океанах, а також зі шкіри морських і прісноводних риб одержують білкові гідролізати, які є джерелом легкозасвоюваного білку (колагену). М'ясо риб багате незамінними амінокислотами, вітамінами, мікроелементами і є повноцінною сировиною для виробництва харчових білкових гідролізатів. Колаген, що використовується як добавка, має нейтральний смак і запах тому може використовуватися в багатьох стравах, наприклад, таких як кисіль, локшина або кава, тобто стосовно технології рідких продуктів харчування. Рідкі продукти особливо корисні при розробці спеціального та лікувального харчування.

Основне джерело для виділення колагену або желатину з риби – це шкіра та кістки, однак останнім часом їх також вилучають із луски та плавників, перероблених рибних відходів, а також з інших водних організмів, таких як червоний морський огірок. Величезна кількість доступних видів вимагає адаптації процедур виділення (екстракції), щоб оптимізувати властивості одержуваного матеріалу (у вигляді колагену або желатину). Функціональні властивості гідролізатів колагену або желатину зосереджені на виробництві біоактивних пептидів з низкою біологічною активністю [6, p. 1813-1827].

Рибна луска – цінне джерело протеїну і мінеральних речовин, які можуть бути використані в різних галузях промисловості. Луска риб може служити сировиною для отримання як харчового, так і технічного желатину, а мінеральний залишок, що утворюється при її отриманні, використовується як кормова мінеральна добавка. У лусці міститься понад 30% білка, основну масу якого є колаген, вміст мінеральних речовин у лусці може досягати 40%. У даний час переробляється близько 10-15% рибної луски, інша частина утилізується або викадається. Тому актуальним напрямком дослідження є пошук переробки рибної луски економічно прийнятними способами. З використанням методу «сухого» очищення рибної луски була отримана досвідчена промислова партія кормової добавки, зразки якої проаналізовані за фізико-хімічними, органолептичними та мікробіологічними показниками. Попередня обробка рибної луски «сухим» способом дозволяє значно скоротити технологічний цикл, енерговитрати, витрата промивних вод, а також максимально зберегти живильну цінність вихідної сировини [1, с. 109].

Переробка шкіряних відходів – невід'ємна частина виробництва шкіри, спосіб поліпшення економічного стану та вирішення низки екологічних проблем. До відходів шкіряного виробництва відносяться частини шкіри, напівфабрикату і самої шкіри, які видаляються в процесі виробництва і не використовуються для вироблення шкіри та виробів із неї. При переробці шкіряної сировини у шкіру утворюється велика кількість відходів (30-50% від маси сировини). У зв'язку з необхідністю утилізації колагеновмісних відходів, що утворюються у великій кількості в процесі шкіряного виробництва, і великою цінністю колагену при виробництві матеріалів для медицини, біотехнології та косметології, проводилися численні дослідження можливості розчинення відходів [7, с. 13-15].

Виробництво колагену в організмі знижується з віком та при неповноцінному харчуванні. Отже, колаген додають у різні продукти. У харчовій промисловості колагени зазвичай використовуються для поліпшення реологічних властивостей і зниження витрат жиру ковбас, сосисок, використовуються для забезпечення достатньої кількості харчових волокон тваринного походження. Також колаген і продукти його гідролізу використовуються при виробництві окрім желатину ще

й для освітлення вин, для отримання харчових плівок, покриттів, їстівних оболонок як структуроутворювач в заливках для консервів і рибних фаршів, формованих рибних виробів, при виробництві штучної ікри, бульйонів, холодців, соусів, різних оздоровчих напоїв та коктейлів та як добавки в хлібопекарському і кондитерському виробництвах. Перспективним є використання колагену у складі молочних продуктів для відновлення хрящової і сполучної тканини, нормалізації мікрофлори і в той же час для надання необхідної структури продукту [8, p. 726-745].

Перероблені відходи оброблення риб та ракоподібних, що містять різні амінокислоти та їх похідні, в даний час широко використовуються у нехарчовій промисловості: у мікробіологічній, у медицині та у виробництві комбікормів, а також у складі натуральних пігментів, косметиці, імобілізаційних препаратів, біорозкладних упаковках. Факторами, які слід враховувати при розробці упаковки для харчових продуктів, є хімічна природа харчових продуктів, органолептичні характеристики харчових продуктів, токсичність добавок та умови зберігання. Отже, для отримання відповідних плівок або покриттів на основі, наприклад, желатину для упаковки продуктів харчування необхідно використовувати різні типи добавок [9, p. 41].

Для виробництва натуральних пакувальних матеріалів раціональним буде використання колагеновмісних відходів сільського господарства, тваринництва або рибопереробки. Багато досліджень було проведено для розробки активних пакувальних плівок та покриттів, включаючи протимікробні, антиоксидантні та інші агенти, які можуть покращити біологічні властивості харчових продуктів. Біоактивні пептиди, такі як лізоцим, можуть бути включені до желатинових плівок для збереження харчових продуктів. Зокрема, лізоцим, включений у плівки риб'ячого желатину, не пригнічував зростання Escherichia coli, але ефективний проти грампозитивних бактерій у дуже низьких концентраціях [9, p. 41; 10, p. 141-145]. Однак нові методи та рецептури для виробництва плівок на основі морського желатину з покращеними кінцевими властивостями та потенційними програмами вимагають подальшого вивчення.

Їстівні плівки та покриття на основі колагену вже були запропоновані для захисту, підтримки та збільшення терміну придатності різноманітних харчових продуктів. Плівка або покриття діє в цьому випадку як бар'єрний шар проти міграції кисню, вологи та розчинених речовин, забезпечуючи структурну цілісність та паропроникність харчового продукту. Крім того, він запобігає окисленню жирів, знебарвленню, росту мікробів і зберігає органолептичні якості [11, p. 39-42].

У медицині рибний колаген і продукти його гідролізу широко застосовують у вигляді різних плівок, губок, ниток, трубок, пов'язок, пластирів і інших препаратів для лікування ран, опіків, пульпітів, гіпертонічної хвороби, остеоартриту. Організовано виробництво контактних лінз з фібрилярного білка риб. Колаген та мінеральні речовини, що містяться у відходах від обробки гідробіонтів, можуть бути використані у складі ліків та профілактичних засобів, що застосовуються для підтримки опорно-рухової системи, оскільки ці речовини являють собою біологічно активні компоненти, що впливають на запалені тканини та знижують запалення. Також відомо, що вплив колагену позитивно відбивається на процесах відновлення кістки та суглобів, нормальна функція яких може бути порушена внаслідок наявності відповідних дегенеративних захворювань.

Завдяки біосумісності, розчинності у воді, безпеки, біорозкладності, антимікробної активності та функціональності морський колаген привабливий для застосування в біоматеріалах, включаючи перев'язку та загоєння ран, доставку ліків, терапію, тканинну інженерію та регенерацію [12, p. 2230].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями переробки вторинних ресурсів сировини гідробіонтів займалися багато вчених [13-21]. В їх дослідженнях запропоновані традиційні технології переробки з використанням ферментативного, хімічного (лужного, кислотного) гідролізу. У якості хімічних агентів, що використовуються для екстрації, застосовуються: водні розчини хлориду натрію, лугів, карбонату натрію, хлорводневої кислоти, фосфорної кислоти, а також різні органічні розчинники, такі як спирти та інші. Інтерес дослідників до носіїв білкової природи цілком обґрунтований, оскільки вони мають високу хімічну міцність, достатню проникність для ферменту і субстрату, велику питому поверхню, можливість отримання у вигляді зручних у технологічному відношенні форм (гранул, мембран), легкої активації, високої гідрофільності, невисокої вартості. Білкові продукти, що отримуються з відходів гідробіонтів можна розділити на наступні групи: білкові гідролізати (білкові концентрати, білкові ізоляти, желатин), мінеральні компоненти (преципітати) та ліпіди.

Морський колаген вивчався як перспективний біоматеріал з великим потенціалом для виробництва ліків завдяки його унікальним властивостям. Систему з контрольованим каркасом для інженерії тканин шкіри на основі мікросфер (D, L-лактид-со-гліколідної кислоти) (PLGA) та риб'ячого колагену, хітозан та хондроїтинсульфат отримували шляхом проведення ліофілізації. Розроблена система для ліків з морського колагену продемонструвала швидкість виділенення білка залежно від співвідношення рибного колагену, а також показала добру біосумісність і здатність стимулювати проліферацію клітин фібробластів і регенерацію тканин шкіри [22, p. 1098-1106].

Рибні білкові гідролізати, одержувані за допомогою органічних розчинників, відрізняються високою харчовою цінністю та хорошими органолептичними показниками (білий колір, відсутність специфічного смаку та запаху). Основними недоліками екстракційного способу переробки відходів гідробіонтів є неможливість збереження нативної структури та властивостей білка та недостатнє очищення від жиру. Внаслідок чого використання таких способів не є широко застосовним у промисловості, протеїни, отримані таким способом, втрачають свої функціональні властивості – мають низьку розчинність, ступінь набухання, низьку емульгуючу та піноутворюючу здатність, внаслідок втрати нативної структури під впливом органічних розчинників у жорстких температурних режимах. Також дані способи пов'язані з високими втратами і, як наслідок, високою вартістю кінцевого продукту [23, с. 61-63].

Тому, розробка технологій переробки та отримання продуктів з вторинної рибної сировини є актуальним напрямком для харчової промисловості.

Метою статті є аналіз технологій переробки та методів отримання продуктів з вторинної рибної сировини.

Виклад основного матеріалу. Комплексні технології переробки вторинних ресурсів дозволяють отримати з відходів харчові добавки, зокрема мінеральні преципітати, колагенові концентрати, жир і інші, що здатні збагачувати продукти харчування кальцієм, магнієм, фосфором, а також проліном і таким чином сприяти профілактиці і лікуванню захворювань опорно-рухової та серцево-судинної систем, якими страждають більше 45% населення. Так, у роботі [24, с. 52-55] важливість розробки технологій отримання біологічно активних харчових добавок. В їх основу покладено концепцію так званого позитивного харчування, згідно з якою перевага віддається функціональним або фізіологічно активним продуктам, що містять інгредієнти, що підвищують опірність організму багатьом захворюванням,

що сприяють поліпшенню фізіологічних процесів в організмі людини, що дозволяють тривалий час зберігати активний спосіб життя. У роботі досліджували ферментативні гідролізати трепанга, які можуть застосовуватися як самостійні БАДи до їжі, так і як компоненти рецептур харчових продуктів лікувально-профілактичного призначення для масового споживання в регіонах з неблагополучними екологічними умовами.

У роботі [25, p. 37] було досліджено можливість використання риб'ячої луски коропа як реалістичного альтернативного джерела колагену для біоматеріалів та тканинної інженерії. Досліджено, що колаген з луски коропа може бути використаний як потенційний біоматеріал в біомедичних, тканинних та фармацевтичних застосуваннях. Випуск колагенових субстанцій і матеріалів, в даний час заснований переважно на використанні хімічних способів обробки колагенвмісної сировини. Одержання гідролізатів засноване на складному біохімічному процесі – ферментативному гідролізі (протеоліз) білкових макромолекул та поліпептидів. Зарубіжний та вітчизняний досвід ферментних технологій у різних галузях харчової та переробної промисловості переконливо свідчить про їхню ефективність; очевидні переваги полягають у можливості глибокої переробки основної та вторинної сировини, реалізації технологічних режимів у природних діапазонах температур, pH середовища та тиску, з мінімальними витратами матеріальних та енергоресурсів.

У роботі [26, p. 100-109] наведено кінетичні закономірності ферментативного гідролізу тканин атлантичної тріски. Для проведення гідролізу (протеолізу) був використаний ферментний препарат, отриманий з гепатопанкреасу камчатського краба Paralithodes camtschatica. Розроблено новий метод виробництва білкового гідролізату на основі багаторазового внесення ферментного препарату (через рівні проміжки часу) в реакційну суміш. Показано, що цей метод гарантує збільшення максимального ступеню гідролізу.

Було досліджено залежності швидкості та глибини гідролізу білків тканин риб від температури та pH інкубаційного середовища, кількісного співвідношення ферментного препарату та гідролізованої сировини, тривалості протеолізу. Було визначено, що глибина ферментативної реакції незначно залежить від типу субстрату (сировини) і визначається природою ферменту [26, p. 100-109].

Нативний колаген відносно стійкий до більшості протеаз, проте попереднє розкладання до желатину може зробити його більш схильним до ферментативного гідролізу. Желатин – це розщеплений колаген, що утворюється шляхом термічного розкладання в кислих (желатин типу А) або лужних (желатин типу В) умовах. Після розкладання на желатин ферментативна обробка може дати суміш пептидів колагену з різною молекулярною масою, препарат, відомий як гідролізат колагену [27, p. 138-147].

Також відомо, що для обробки колагену, желатину та інших загальних білків використовуються дві поширені технології: вологий (або розчинний) та сухий процеси. Вологий процес заснований на диспергуванні або солюбілізації білків колагену в середовищі розчинника з подальшим видаленням розчинника, яке може відбуватися шляхом сушіння або за механізмом обміну розчинник-нерозчинник [28, p. 1-23].

У роботі [16, с. 1620-1624] було встановлено оптимальні параметри електрохімічного екстрагування цінних компонентів із відходів риб сімейства тріскових. Була розроблена та обґрунтована комплексна технологія переробки відходів від оброблення риби із використанням електрохімічного способу. Розроблена

технологія має ряд переваг у порівнянні з відомими способами виділення колагену, так як не вимагає використання небезпечних хімічних реактивів, є екологічно безпечною і меншою мірою впливає на вихідні властивості речовин, що екстрагуються.

Одним з інноваційних способів отримання протеїнів з вторинної сировини (відходи від переробки риби, морепродуктів, птиці, тварин, бобових та інших рослин) є гідротермальна нехімічна технологія, яка описана у роботі [3, с. 1-11]. Технологія заснована на термічному руйнуванні у водному середовищі білків під тиском, екстракції пептидів у водне середовище, виділення пептидної фракції і її сушінні. Отримані пептидні суміші можна застосовувати при виробництві кормів, протеїнових харчових продуктів, спеціалізованого харчування, харчових технологічних добавок, біополімерів-структуроутворювачів, мікробіологічних середовищ, тензидів, косметичних препаратів та інших продуктів. Готові пептидні суміші містять більше 95% протеїнів у перерахунку на масу сухої речовини і являють собою концентрат натуральних пептидів високої функціональної спрямованості.

Для виділення колагену з гідробіонтів проводиться попередня обробка сировини, описана у роботі [28, p. 1-23]. Загальний метод передбачає використання базової попередньої обробки гідроксидом натрію (NaOH), який не викликає структурної модифікації ланцюгів колагену, спиртами (а саме бутиловим спиртом або етанолом) та перекисом кисню в процесі видалення неколагенових білків, жирів та пігментів відповідно. Крім того, для видалення неколагенових білків зі шкіри тріски, використання хлориду натрію (NaCl) як альтернатива. Також було запропоновано NaOH. Крім того, для поліпшення вилучення колагену з кісток, хрящів та лусочок використовується етилендіамінтетраоцтова кислота, кислота (ЕДТА) рекомендується для цілей демінералізації [29-34]. В якості альтернативи також можна використовувати HCl.

У роботі [28, p. 1-23] описано, що дія лугу зводиться в основному до розпушення волокнистих структур, видалення супутніх речовин і розриву міжмолекулярних зв'язків, а також деполімеризації фібрилярних. Застосування нейтральної солі в процесі розпушування сировини гідроксидом натрію дозволяє здійснити спрямований гідроліз його структури по лінії розриву поперечних міжфібрилярних зв'язків, перешкоджаючи при цьому лужному набуханню колагену. Запропоновано метод вилучення колагену з водних тварин, у якому кислотна обробка поєднується з послідовністю фізико-механічних обробок, включаючи pH коригування, гомогенізація, змішування, а також обробка ультразвуком.

Запропонований у роботі [3, с. 1-11] гідротермальний спосіб отримання протеїнів дозволяє здійснити практично повну їх екстракцію з сировинного матеріалу (луска, шкіра, кістки, хвостові плавники, голови та ін), при цьому за рахунок наявного обладнання технологія реалізується промислово, дозволяючи здійснювати глибоку переробку рибних відходів. Можливо сировину переробляти комбіновано, поєднуючи біотехнологічний (ферментативний) та фізичний (гідротермальний) процеси. Завдяки комбінуванню біотехнологічних та фізичних методів впливу на сировину відбувається підвищений рівень гідролізу білків до пептидів та амінокислот з подальшою екстракцією у водне середовище. Одночасно у зв'язку з руйнуванням жирових клітин витікає риб'ячий жир, а мінеральні речовини, вивільняючись із кісткової тканини, утворюють у реакційній зоні осад. Подальше декантування отриманої суміші дозволяє отримати не тільки високоякісні пептиди морського походження, а й цінні жири з високим вмістом поліненасичених жирних кислот, а також комплекс біологічно цінних мінеральних речовин з переваженням кальцію та фосфору в біодоступній формі.

У роботі наведено [12, p. 2230] методи екстракції колагену, у тому числі кислотну екстракцію, екстракцію оцтовою кислотою і за допомогою пепсину, глибоку екстракцію евтектичним розчинником, екстракцію надкритичною рідиною, екструзію та екстракцію за допомогою ультразвуку, а також параметри екстракції з виділення колагену, такі як температура, час, розчинник та співвідношення твердої та рідкої фаз. Серед різних методів екстракції глибока евтектична екстракція розчинником є перспективним методом екстракції для майбутніх досліджень; однак, умови екстракції повинні бути оптимізовані для отримання більш високого виходу екстракції.

Тому, необхідно вивчити фізико-хімічні властивості рибного колагену та вплив на його властивості методів виділення. Необхідно провести дослідження нових фізичних, хімічних та ферментативних змін у структурі колагену для створення відповідних біоматеріалів із рибного колагену.

Висновки. Аналіз наукової літератури показав актуальність розробки технологій переробки вторинної рибної сировини для промислових виробництв. Більшість вироблених відходів від обробки гідробіонтів не використовується для створення харчових продуктів з високою біологічною цінністю, тому розробка нових технологій переробки сировини та методів виділення рибних продуктів дозволить реалізувати концепцію раціонального використання ресурсів і підвищити рентабельність переробки гідробіонтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кириллов А.И. Технология безотходной переработки коллагенсодержащих отходов от разделки гидробионтов: дис. на соиск. к.т.н. *Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет.* 2016. С. 109.

2. Самойлова Д.А., Цибизова М.Е. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок. *Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство*. 2015. № 2. С. 129-146.

3. Хёлинг А., Гримм Т., Волков В.В., Мезенова О.Я., Мезенова Н.Ю. Инновационное получение протеинов из белоксодержащего биологического сырья. *Вестник науки и образования Северо-Запада России.* 2017. № 2. Т. 3. С. 1-11.

4. Дзюба Н.А. Визначення фармакологічних властивостей гідролізату колегена. *Таврійський науковий вісник*. 2022 . № 1. С. 86-96.

5. Jabeen F., Chaudhry A.S. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. *Food Chem. Elsevier*. 2011. № 3. Vol. 125. P. 991–996.

6. Gomez-Guillen M.C., Gimenez B., Lopez-Caballero M.E., Montero M.P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources. *A review. Food Hydrocolloids*. 2011. № 25. P. 1813-1827.

7. Тихонова Ю. В., Кривоносова Л. Г., Ломакин С. П., Филатова Э. С., Хабибуллин Р. Р. Свойства продуктов гидролиза коллагена. *Башкирский химический журнал.* 2009. № 1. Том 16. С.13-15.

8. Arvanitoyannis I.S., Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *Int. J. food Sci. Technol. Wiley Online Library*. 2008. № 4. Vol. 43. P. 726–745.

9. Ramos M., Valdes A., Beltran A., Garrigos M.C. Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Coatings*. 2016. № 6. P. 41.

10. Bower C., Avena-Bustillos R., Olsen C., McHugh T., Bechtel P. Characterization of fish-skin gelatin gels and films containing the antimicrobial enzyme lysozyme. *J. Food Sci.* 2006. № 71. P. 141–145.

11. Fang J., Fowler P., Escrig C., Gonzalez R., Costa J., Chamudis L. Development of biodegradable laminate films derived from naturally occurring carbohydrate polymers. *Carbohydr. Polym*. 2005. № 60. P. 39–42.

12. Jafari H., Lista A., Siekapen M. M., Ghaffari-Bohlouli P., Nie L., Alimorandi H., Shavandi A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*. 2020. № 12 (10). P. 2230.

13. Кушнір Н.А. Основи технології отримання колагену з рибної колагеновмісної сировини. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О.І. Черевко. – Харків: ХДУХТ.* 2014. Вип. 1(19). С.107-116.

14. Dzyuba N., Bilenka I., Palvashova A., Zemlyakova E. Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. 5(11). P.10–17.

15. Дзюба Н. А., Землякова О. В. Розроблення композиції складу борошняних кондитерських виробів протекторної дії. *Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: collective monograph. Stalowa Wola, Poland.* 2018. Vol. 1. С. 155-174.

16. Кириллов А.И., Линчевская А.А, Куприна Е.Э. Безотходная технология переработки вторичных ресурсов рыбной промышленности для получения пищевых добавок с кальций обогащающими и хондропротекторными свойствами. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2013. № 3 (5). Т. 15. С. 1620-1624.

17. Shahid M. Isolation and characterization of collagen from fish waste material-skin, scales and fins of Catla catlaand Cirrhinus mrigala. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. 52(7). P. 4296–4305.

18. Sionkowska, A., Grabska, S. Preparation and characterization of 3D collagen materials with magnetic properties. *Polymer Testing*. 2017. 62. P. 382–391.

19. Se-Kwon K., Yong-Tae K, Hee-Guk B., Pyo-Jam P., Hisashi I. Purification and characterization of antioxidative peptides from bovine skin. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 2001. No. 3. Vol. 34.P. 219-224.

20. Zhang Z., Li C., Shi B. Physicochemical properties of collagen, gelatin and collagen hydrolysate derived from bovine limed split wastes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists.* 2005.Vol. 90. P. 23-29.

21. Zhang Y., Koguchi T., Simizu M. Chicken collagen hydrolysate protects rats from hypertension and cardiovascular damage. *J. Med. Food.* 2010. Vol. 13. P. 399-405.

22. Cao H., Chen M.-M., Liu Y., Liu Y.-Y., Huang Y.-Q., Wang J.-H., Chen J.-D., Zhang, Q.-Q. Fish collagen-based scaffold containing PLGA microspheres for controlled growth factor delivery in skin tissue engineering. *Colloids Surf. B Biointerfaces.* 2015. № 136. P. 1098–1106.

23. Петров И.Б., Клименко А.И. Комплексная переработка отходов рыбоперерабатывающих производств. *Молодой ученый. Издательство «Молодой ученый». 2012.* № 44. С. 61–63.

24. Ковалев Н.Н., Позднякова Ю. М., Перцева А. Д., Тун Ч. Состав и антиоксидантные свойства ферментативного гидролизата мышечной ткани трепанга. *Пищевая промышленность.* 2016. Т. 1. С.52-55.

25. Pal G.K., Suresh V. P. Comparative assessment of physico-chemical characteristics and fibril formation capacity of thermostable carp scales collagen. *Materials Science & Engineering*. 2016. P. 37.

26. Новиков В.Ю., Деркач С.Р., Широнина А.Ю., Мухин В.А. Кинетические закономерности ферментативного гидролиза белков тканей гидробионтов: эффект способа внесения фермента. *Вестник МГТУ*. 2015. № 1. Том 18. С. 100-109.

27. Offengenden M., Chakrabarti S., Wu J. Chicken collagen hydrolysates differentially mediate anti-inflammatory activity and type I collagen synthesis on human dermal fibroblasts. *Food Science and Human Wellness*. 2018. Issue 2. Volume 7. P. 138-147.

28. Coppola D., Oliviero M, Vitale G.A., Lauritano C., D'Ambra I., Iannace S., de Pascale D. Marine Collagen from Alternative and Sustainable Sources: Extraction, *Processing and Applications. Mar. Drugs.* 2020. № 18. P. 1-23.

29. Zhang M., Liu W., Li G. Isolation and characterisation of collagens from the skin of largefin longbarbel catfish (Mystus macropterus). *Food Chem*. 2009. № 115. P. 826–831.

30. Senaratne L., Park P.-J., Kim S.-K. Isolation and characterization of collagen from brown backed toadfish (Lagocephalus gloveri) skin. *Bioresour. Technol*. 2006. № 97. P. 191–197.

31. Nagai T., Suzuki N. Isolation of collagen from fish waste material – Skin, bone and fins. *Food Chem*. 2000. № 68. P. 277–281.

32. Nagai T. Characterization of acid-soluble collagen from skins of surf smelt (Hypomesus pretiosus japonicas Brevoort). *Food Nutr. Sci*. 2010. № 1. P. 59.

33. Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Nagai T., Tanaka M. Isolation and characterisation of acid and pepsin-solubilised collagens from the skin of Brownstripe red snapper (Lutjanus vitta). *Food Chem.* 2005. № 9. P.475–484.

34. Nagai T., Araki Y., Suzuki N. Collagen of the skin of ocellate pu_er fish (Takifugu rubripes*). Food Chem*. 2002. № 78. P. 173–177.

REFERENCES:

1. KirillovA.I.(2016).Tekhnologiyabezothodnojpererabotkikollagensoderzhashchih othodov ot razdelki gidrobiontov [Technology of waste-free processing of collagen-containing waste from butchering hydrobionts] (PhD Thesis), *Sankt-Peterburgskij nacional'nyj issledovatel'skij universitet*, p. 109 [in Russian].

2. SamojlovaD.A.,CibizovaM.E.(2015).Vtorichnyeresursyrybnojpromyshlennosti kak istochnik pishchevyh i biologicheski aktivnyh dobavok [Secondary resources of the fishing industry as a source of food and biologically active additives]. *Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe hozyajstvo*, no. 2, pp. 129-146 [in Russian].

3. Hyoling A., Grimm T., Volkov V.V., Mezenova O.YA., Mezenova N.YU. (2017). Innovacionnoe poluchenie proteinov iz beloksoderzhashchego biologicheskogo syr'ya [Innovative production of proteins from protein-containing biological raw materials]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, vol. 2, no. 3, pp. 1-11 [in Russian].

4. Dziuba N.A. (2022). Vyznachennia farmakolohichnykh vlastyvostei hidrolizatu kolehena[Appointment of pharmacological authorities of collagen hydrolyzate]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, no. 1, pp. 86-96 [in Ukranian].

5. Jabeen F., Chaudhry A.S. (2011). Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. *Food Chem. Elsevier*, 3 (125), 991–996.

6. Gomez-Guillen M.C., Gimenez B., Lopez-Caballero M.E., Montero M.P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: *A review. Food Hydrocolloids*, 25, 1813-1827.

7. Tihonova YU. V., Krivonosova L. G., Lomakin S. P., Filatova E. S., Habibullin R. R. (2009). Svojstva produktov gidroliza kollagena [Properties of collagen hydrolysis products]. *Bashkirskij himicheskij zhurnal*, vol. 1, no. 16, pp. C.13-15.

8. Arvanitoyannis I.S., Kassaveti A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *Int. J. food Sci. Technol. Wiley Online Library*, 4(43), 726–745.

9. Ramos M., Valdes A., Beltran A., Garrigos M.C. (2016). Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Coatings*, 6, 41.

10. Bower C., Avena-Bustillos R., Olsen C., McHugh T., Bechtel P. (2006). Characterization of fish-skin gelatin gels and films containing the antimicrobial enzyme lysozyme. *J. Food Sci,* 71, 141–145.

11. Fang J., Fowler P., Escrig C., Gonzalez R., Costa J., Chamudis L. (2005). Development of biodegradable laminate films derived from naturally occurring carbohydrate polymers. *Carbohydr. Polym*, 60, 39–42.

12. Jafari H., Lista A., Siekapen M. M., Ghaffari-Bohlouli P., Nie L., Alimorandi H., Shavandi A. (2020). Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*, 12 (10), 2230.

13. Kushnir N.A. (2014). Osnovy tekhnolohii otrymannia kolahenu z rybnoi kolahenovmisnoi syrovyny [Fundamentals of collagen production technology from fish collagen-containing raw materials]. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva ta torhivli: *zb. nauk. pr. / vidpov. red. O.I. Cherevko. Kharkiv: KhDUKhT*. 1(19), 107-116 [in Ukranian].

14. Dzyuba N., Bilenka I., Palvashova A., Zemlyakova E. (2017). Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* vol. 5, no. 11, pp. 10–17.

15. Dzyuba N. A., Zemliakova O. V. (2018). Rozroblennia kompozytsii skladu boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv protektornoi dii [Development of the composition of the composition of flour confectionery products of tread action]. *Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: collective monograph. Stalowa Wola, Poland,* no.1, pp. 155-174 [in Ukranian].

16. Kirillov A.I., Linchevskaya A.A, Kuprina E.E. (2013). Bezothodnaya tekhnologiya pererabotki vtorichnyh resursov rybnoj promyshlennosti dlya polucheniya pishchevyh dobavok s kal'cij obogashchayushchimi i hondroprotektornymi cvojstvami [Waste-free technology for processing secondary resources of the fishing industry to obtain food supplements with calcium enriching and chondroprotective properties]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, vol. 15, no. 3(5), pp. 1620-1624 [in Russian].

17. Mahboob, Shahid (2015). Isolation and characterization of collagen from fish waste material- skin, scales and fins of Catla catlaand Cirrhinus mrigala. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4296–4305.

18. Sionkowska, A., Grabska, S. (2017). Preparation and characterization of 3D collagen materials with magnetic properties. Polymer Testing, 62, 382–391.

19. Se-Kwon K., Yong-Tae K, Hee-Guk B., Pyo-Jam P., Hisashi I. (2001). Purification and characterization of antioxidative peptides from bovine skin. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 3(34), 219-224.

20. Zhang Z., Li C., Shi B. (2005). Physicochemical properties of collagen, gelatin and collagen hydrolysate derived from bovine limed split wastes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists,* 90, 23-29.

21. Zhang Y., Koguchi T., Simizu M. (2010). Chicken collagen hydrolysate protects rats from hypertension and cardiovascular damage. *J. Med. Food,* 13, 399-405.

22. Cao H., Chen M.-M., Liu Y., Liu Y.-Y., Huang Y.-Q., Wang J.-H., Chen J.-D., Zhang, Q.-Q. (2015). Fish collagen-based scaffold containing PLGA microspheres for controlled growth factor delivery in skin tissue engineering. *Colloids Surf. B Biointerfaces,* 136, 1098–1106.

23. Petrov I.B., Klimenko A.I. (2012). Kompleksnaya pererabotka othodov rybopererabatyvayushchih proizvodstv [Integrated processing of waste from fish processing industries]. *Molodoj uchenyj. Izdatel'stvo «Molodoj uchenyj»*, no. 44, pp. 61–63 [in Russian].

24. Kovalev N.N., Pozdnyakova YU. M., Perceva A. D., Tun CH. (2016). Sostav i antioksidantnye svojstva fermentativnogo gidrolizata myshechnoj tkani trepanga [Composition and antioxidant properties of the enzymatic hydrolyzate of trepang muscle tissue]. *Pishchevaya promyshlennost'*, vol. 1, pp. 52-55 [in Russian].

25. Pal G.K., Suresh V. P. (2016). Comparative assessment of physico-chemical characteristics and fibril formation capacity of thermostable carp scales collagen. *Materials Science & Engineering*, 37.

26. Novikov V.YU., Derkach S.R., SHironina A.YU., Muhin V.A. (2015). Kineticheskie zakonomernosti fermentativnogo gidroliza belkov tkanej gidrobiontov: effekt sposoba vneseniya fermenta [Kinetic regularities of enzymatic hydrolysis of hydrobiont tissue proteins: the effect of the enzyme introduction method]. *Vestnik MGTU*, vol. 1, no. 18, pp. 100-109.

27. Offengenden M., Chakrabarti S.., Wu J. (20180. Chicken collagen hydrolysates differentially mediate anti-inflammatory activity and type I collagen synthesis on human dermal fibroblasts*. Food Science and Human Wellness*, vol. 2, no. 7, pp. 138-147.

28. Coppola D., Oliviero M, Vitale G.A., Lauritano C., D'Ambra I., Iannace S., de Pascale D. (2020). Marine Collagen from Alternative and Sustainable Sources: Extraction, *Processing and Applications. Mar. Drugs,* no. 18, pp. 1-23.

29. Zhang M., Liu W., Li G. (2009). Isolation and characterisation of collagens from the skin of largefin longbarbel catfish (Mystus macropterus). *Food Chem*, no. 115, pp. 826–831.

30. Senaratne L., Park P.-J., Kim S.-K. (2006). Isolation and characterization of collagen from brown backed toadfish (Lagocephalus gloveri) skin. *Bioresour. Technol*, no. 97, pp. 191–197.

31. Nagai T., Suzuki N. (2000). Isolation of collagen from fish waste material—Skin, bone and fins. *Food Chem*, no. 68, pp. 277–281.

32. Nagai T. (2010). Characterization of acid-soluble collagen from skins of surf smelt (Hypomesus pretiosus japonicas Brevoort). *Food Nutr. Sci*, no. 1, p. 59.

33. Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Nagai T., Tanaka M. (2005). Isolation and characterisation of acid and pepsin-solubilised collagens from the skin of Brownstripe red snapper (Lutjanus vitta). *Food Chem,* no. 9, pp. 475–484.

34. Nagai T., Araki Y., Suzuki N. (2002). Collagen of the skin of ocellate pu_er fish (Takifugu rubripes*). Food Chem*, no. 78, pp. 173–177.

УДК 664.8/.9
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.17

ЕКСПЕРТИЗА РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСЕРВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ «СВИНИНА З ГРИБАМИ»

Ряполова І. О. *– кандидат сільськогосподарських наук,*
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-7672-6639
Scopus-Author ID: 57207853973

Новікова Н. В. *– кандидат сільськогосподарських наук,*
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X
Scopus-Author ID: 57207860462

Кіпіоро І. М. *– кандидат економічних наук,*
заступник директора з навчальної роботи
Кропивницького фахового коледжу харчування та торгівлі
ORCID ID: 0000-0002-8482-1265

Робота присвячена дослідженню якості розроблених в умовах приватного підприємства «Наш продукт» м'ясних консервів функціонального призначення. Вся консервована продукція яку виготовляє дане підприємство має торгову марку «Наш продукт» і представлена в різних регіонах країни. У склад консервів крім м'ясної сировини (свинини) було введено гриби, а саме гливу звичайну. Відомо, що глива володіє цілим спектром корисних властивостей: є низькокалорійним продуктом; є одним із найбагатших джерел цинку, джерелом калію; містить манітол, велику кількість вітамінів групи В і D, багато клітковини. Хімічний аналіз свинини і гливи звичайної свідчить про добрий баланс між складовими нутрієнтами.

Такі складові гливи звичайної як вуглеводи, клітковина можуть компенсувати надмірну кількість жиру яку містить свинина, утворивши полікомпонентний комплекс. За рахунок введення грибів частково задовольняється потреба у цинку і вітамінах групи В.

Проведені проробки з рецептурою дозволили встановити оптимальне співвідношення м'яса і грибів. Дослідження сенсорних властивостей та профільної оцінки розробленої продукції свідчить про досить привабливі і гармонійні поєднання компонентів консерви з вмістом грибної сировини 23%.

Аналіз технологічної схеми виробництва запропонованої м'ясо-грибної консервованої продукції дозволив виділити декілька етапів на яких є ймовірність забруднення сировини, тобто ризик виникнення біологічних, хімічних, фізичних небезпек. Це дозволило виділити критичні контрольні точки на які слід звернути увагу під час процесу виробництва.

Розроблена консервна продукція «Свинина з грибами» має функціональну спрямованість, добрі показники харчової цінності, сенсорного аналізу, фізико – хімічні властивості, готова до споживання як у холодному так і підігрітому вигляді. Це є передумовою для розробки технічних умов на м'ясо-грибні консерви «Свинина з грибами» і можливого подальшого впровадження у серійне виробництво на приватному підприємстві «Наш продукт» м. Херсон.

Ключові слова: *м'ясо, глива звичайна, м'ясо-грибні консерви, органолептичні показники, функціональна спрямованість.*

Ryapolova I. O., Novicova N. V., Kipioro I. M. Examination of the developed canned products of functional purpose "Pork with mushrooms"

The work is dedicated to the development of meat-containing preserves of a functional direction in the conditions of the private enterprise "Our Product". All canned products are produced under the trademark "Our Product" and presented in different regions of the country. In order to maintain necessary characteristics, mushrooms were added to their composition, namely, oyster mushroom. It is known that oyster mushroom has a wide range of range of useful characteristics: it is a low-calorie product; it is one of the richest sources of zinc and potassium; contains manitol, a large number of vitamins of groups B and D and much fiber. Chemical analysis of pork and oyster mushroom indicates a good balance between components-nutrients.

Such components of oyster mushroom as carbohydrates and fiber can compensate excessive fat of pork, creating a poly-component complex. Due to introduction of mushrooms, the need of zinc and vitamins of group B are often satisfied.

Analyzing technological scheme for production of meat and mushroom preserves we can identify some stages where there is probability of contamination of raw materials, the risk of emergence of biological, chemical, physical dangers and determine critical points that should be considered in a production process.

Trials of the recipe allowed us to establish the optimal correlation of meat and mushrooms. Analysis of the sensory and profile assessment of the products indicates attractive and harmonious combinations with the addition and harmony of the components of preserves and the content of mushroom raw materials – 23%. The preserves "Pork with Mushrooms" has a functional direction good indexes of nutritional value, sensory analysis, physical and chemical properties, ready to be consumed as a cold or a warmed product.

Key words: *meat, oyster mushroom, meat and mushroom preserves, organoleptic indexes, functional direction.*

Вступ. Виробництво м'ясних консервів займає власну, досить велику частку у харчовій галузі. Асортимент продукції представлений м'ясо-рослинними паштетами, м'ясом тушкованим, м'ясо-рослинними кашами та ін. Аналіз літературних джерел свідчить, що науковці-технологи постійно вдосконалюють і пропонують нові рецептури даного виду продукції, додаючи до основної сировини (м'ясо, субпродукти) рослинні компоненти, які володіють функціональними властивостями [1; 2; 3].

Питаннями вирішення фундаментальних проблем створення та розвитку теорії та практики інноваційних технологій полікомпонентних харчових продуктів, модифікації функціональних властивостей сировини тваринного і рослинного походження займалися ряд вчених і практиків [4; 5; 6; 7].

Разом з тим, в даний час основна маса м'ясопродуктів яка випускаються промисловістю, не збалансована за нутрієнтним складом і не відповідає зростаючим потребам населення в додаткових поживних і біологічно активних речовинах, недолік яких викликає захворювання, пов'язані в основному з дефіцитом білка, ПНЖК, пребіотиків, харчових волокон, вітамінів і мікро-, макроелементів (йоду, кальцію та ін.).

У зв'язку з цим розробка і розвиток науково-практичних основ, створення і виробництво якісних і безпечних вітчизняних продуктів харчування, збалансованих по нутрієнтному складу і збагачених натуральними біокоррегуючими інгредієнтами набуває особливої значущості.

Постановка проблеми. Головним чинником підвищення якості життя є реалізація принципів здорового харчування, в основу яких покладені розробка і виробництво харчових продуктів масового споживання з функціональними харчовими інгредієнтами, що здатні адекватно забезпечити організм людини основними джерелами есенціальних речовин.

Зростаюча потреба у м'ясних напівфабрикатах та готових стравах стимулює виробників до збільшення обсягів виробництва та розширення асортименту цієї

продукції. Використання традиційної сировини в різних поєднаннях, комбінування м'ясних фаршів з сировиною тваринного та рослинного походження, внесення харчових добавок, застосування сучасного обладнання та прогресивних технологій – дозволяє не тільки урізноманітнити перелік виробів, надати продукту різні смакові відтінки, а й покращити технологічні властивості фаршу, підвищити його біологічну вартість [8].

В останні десятиліття одним з перспективних напрямків в технології виробництва харчових продуктів є комбінування м'ясної і рослинної сировини. Це дозволяє значно підвищити харчову і біологічну цінність готової продукції і дозволяє створити високоякісні, різноманітні, повноцінні продукти, в тому числі для різних категорій населення. В результаті використання комбінованої сировини продукти являють собою єдине ціле, окремі складові якого не здатні забезпечити організм необхідними органолептичними, поживними, енергетичними та лікувально-профілактичні властивості. Комбіновані продукти харчування, як правило, збалансовані за складом, не потребують штучного збагачення вітамінами, мінеральними та іншими ессенціальними речовинами. Вони найбільш прийнятні для раціонального харчування різних груп населення, так як містять основні харчові речовини і багато біологічно активних, необхідних для організму людини, що сприяють збереженню активності фізіологічних процесів і зниженню передчасного старіння.

З огляду на те, що на структурному, нутрієнтному і молекулярному рівнях полікомпонентні м'ясопродукти мають досить складну харчову матрицю, розвиток високих технологій на базі фундаментальних і сучасних прикладних досліджень з використанням принципово нових комп'ютерних програмних інструментів є актуальним стратегічним напрямком у вирішенні поставлених завдань.

Мета досліджень. Дослідження присвячені експертизі розроблених в умовах приватного підприємства «Наш продукт» м'ясо – грибних консервів за показниками якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як функціональні інгредієнти в технології м'ясних функціональних продуктів на принципах харчової комбінаторики часто використовується рослинна сировина. Вона розглядається як джерело таких незамінних компонентів, як харчові волокна, вітаміни, макро- та мікроелементи, унікальних за своїм складом та властивостями вуглеводів, фітонцидів та інших біологічно активних речовин. В даний час особливого значення набуває використання в рецептурі м'ясних продуктів (консерви, рубані напівфабрикати, кулінарні вироби) рослинних компонентів, представлених як традиційними овочевими культурами, так і рідко використовуються в технології харчових продуктів.

Як зазначає О.А. Коваль [9], створення комбінованих продуктів харчування з високою засвоюваністю макронутрієнтів сприяє збалансованості та розширенню раціону харчування населення. Ці продукти являють собою готові системи з заданими властивостями, до складу яких входять білки і інші незамінні компоненти їжі у взаємодоповнюючих співвідношеннях.

І.І. Микитчук, Л.Ю. Авдєєва зазначають, що рослинна сировина, багата не тільки макро- і мікроелементами і вітамінами, але і клітковиною, пектиновими речовинами, тобто є джерелом таких біологічно активних речовин, кількість яких недостатньо в м'ясної продукції [10]. Тому в порівнянні з м'ясними продуктами комбіновані мають більш збалансований склад, високу харчову і біологічну цінність.

Продукти з комбінованим складом можуть забезпечувати профілактику різних захворювань. Наприклад, додаткове введення харчових волокон в продукти харчування благотворно діє на метаболізм вуглеводів в шлунково-кишковому тракті

людини, що в свою чергу запобігає розвитку соціально небезпечних захворювань, а також стимулює діяльність серцево-судинної і травної систем. Харчові волокна сприятливо впливають на шлунково-кишковий тракт, стимулюють його моторику, є відмінним сорбентом, зв'язують і виводять токсичні речовини, важкі метали, радіонукліди, уповільнюють процес всмоктування жирів і простих вуглеводів, що сприяє зниженню вмісту холестерину і нормалізації рівня глюкози в крові. Для кишкової мікрофлори рослинні харчові волокна є поживним субстратом, який стимулює її активність і нормалізує біоценоз кишечника. У зв'язку з цим, використання харчових волокон, клітковини у виробництві комбінованих продуктів харчування дозволяє підвищити якість продукції, надати їй функціональну спрямованість, поліпшити економічні показники виробництва.

Розробка комбінованих харчових продуктів забезпечує організм не тільки надходженням необхідних поживних речовин, а й розширює асортимент, підвищує якість готових продуктів і скорочує кількість відходів у процесі виробництва [11].

Інноваційні продукти з корисними властивостями, вироблені з натуральної сировини, здатні забезпечити підприємствам зростання виробництва, підвищення конкурентного статусу на основі оновлення асортименту для виходу на ринок світового економічного простору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес виробництва продуктів харчування починається з підбору сировини як основної так і додаткової. Слід пам'ятати, що у процесі зберігання сировини можуть відбуватися зміни властивостей, погіршуватися якість, що може призвести до втрати безпечності. Основна та допоміжна сировина яка використовується для виробництва консервних м'ясних виробів має відповідати вимогам діючим нормативним документам та технічним умовам та мати відповідні сертифікати від постачальника. Після надходження на підприємство її якісні і кількісні показники контролюються виробничою лабораторією підприємства.

Ми пропонуємо для виробництва комбінованих м'ясних консервів функціонального направлення в якості додаткової сировини використати гриби, а саме гливу звичайну, так як дана сировина володіє рядом корисних ознак.

Питаннями вивчення хімічного складу, вирощування, зберігання гливи займалися багато науковців [12; 13; 14; 15]. Відомості про хімічний склад дуже суперечливі, це пов'язано з тим, що для вирощування використовуються різноманітні субстрати. Разом з тим, широке впровадження гливи у виробництво та просування її на споживчому ринку як екологічно чистого та корисного продукту обмежується відсутністю робіт, що висвітлюють наукові засади технології переробки грибів цього виду.

Враховуючі переваги гливи, було зроблено експериментальні проробки щодо використання грибів у якості функціонального компоненту з м'ясною сировиною. Використовуючи довідник хімічного складу харчових продуктів зробили аналіз складових. Хімічний аналіз свинини і гливи звичайної які будуть основною сировиною при створенні м'ясних готових страв з допоміжними компонентами, свідчить про добрий баланс між складовими нутрієнтами. За рахунок введення грибів частково задовольняється потреба у цинку і вітамінах групи В (В2,В3,В5, В6, В9), вітаміні Д, Е, біотині, клітковині (табл. 1).

Такі, складові гливи звичайної як вуглеводи, клітковина можуть компенсувати надмірну кількість жиру яку містить свинина, утворивши полікомпонентний комплекс. Високі споживчі властивості, низький рівень цін у порівнянні з іншими видами тваринницької продукції, стабільні поставки дозволяють вважати гриби

перспективною сировиною для м'ясних полікомпонентних страв функціональної спрямованості.

Таблиця 1

Хімічний склад гливи звичайної і свинини г/в 100г продукту

Показник	Глива звичайна	Свинина	Показник	Глива звичайна	Свинина
Волога	89,0	51,0	Вітаміни, %/100 г сировини		
Білок	3,3	13,1	Тіамін (B_1)	8,3	25,0
Жир	0,4	29,4	Рибофлавін (B_2)	19,0	6,7
Вуглеводи	3,8	3,9	Ніацин (B_3)	9,7	-
Клітковина	2,3	0,5	Пантотенова к-та (B_5)	26,0	-
Калій (K)	17,0	8,4	Витамин Д	7,0	-
Фосфор (P)	15,0	18,0	Витамін Е	-	3,3
Залізо (Fe)	7,4	7,8	Біотин (H)	22,0	-
Цинк (Zn)	6,4	-	Нікотинова к-та (PP)	25,0	25,0

Теоретичні розрахунки та практичні напрацювання дозволили розробити рецептуру м'ясо-грибних консервів та запропонувати технологічну схему. Для порівняння використовували різні співвідношення м'яса і грибів із роду глива, які були оброблені бланшуванням при температурі 80^0С протягом 5 хвилин.

Шляхом підбору було обрано два варіанти комбінацій вмісту грибів: у першому варіанті до м'яса свинини (65%) додавали 23% бланшованих подрібнених грибів гливи, у другому варіанті зменшили кількість м'яса до 50% і збільшили кількість грибного компоненту до 38%. Для стерилізації було обрано режими що, застосовуються при виробництві консервів які обрано за контроль (каша гречана зі свининою).

Культивовані гриби досить часто використовуються у технології приготування гарячих і холодних страв, як самостійна страва у вигляді закусок, або у складі полікомпонентних страв. Запропонована продукція відноситься до готових м'ясних страв яку можна споживати як в холодному вигляді так і в гарячому разом з гарніром.

Таблиця 2

Результати бальної оцінки модельних зразків консервів

Досліджувані зразки	Бальна оцінка					Сумарна бальна оцінка
	Зовнішній вигляд	Колір	Запах і аромат	Смак	Консистенція	
	Коефіцієнт вагомості показника якості					
	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	
Каша гречана зі свининою	4,9	4,06	4,9	4,93	4,8	4,81
Свинина з грибами, варіант I	4,93	4,3	4,9	4,8	4,9	4,8
Свинина з грибами, варіантII	4,7	4,1	4,8	4,9	4,8	4,72

Вивчення органолептичних показників, фізико-хімічних, характеристик дозволить дізнатися про вплив взаємодії різних видів компонентів консерви на якісні характеристики готової продукції.

Визначали органолептичні показники з урахуванням коефіцієнтів вагомості показників якості. У готових зразках визначали весь вміст консервів: зовнішній вигляд, як розподіляються між собою складові консерви, колір, запах і аромат у холодному та підігрітому до 35^{0}С стані, консистенцію (ніжність, соковитість, пружність, щільність, розсипчастість), смак (табл. 2).

Профільний аналіз органолептичних показників за показниками сенсорного аналізу дав можливість здійснити порівняння показників між модельними зразками розклавши їх на прості дескриптори (рис. 1).

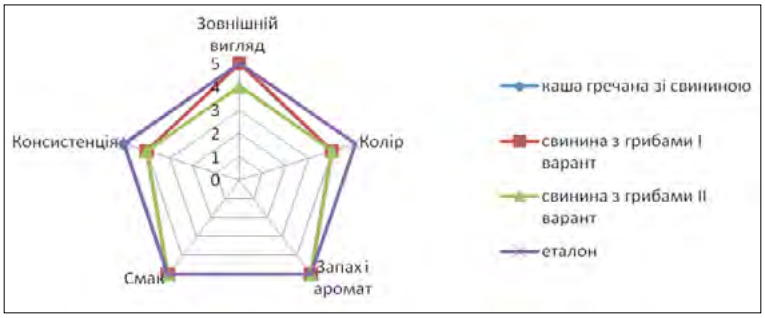


Рис. 1. Профільна оцінка м'ясо-рослинних консервів I та II варіантів

Аналіз сенсорної та профільної оцінки розробленої продукції свідчить про досить привабливі і гармонійні поєднання компонентів консерви у зразку № 1, де вміст грибної сировини становить 23%. Даний варіант мав запах і смак властивий тушкованій свинині з незначним присмаком грибів, рівномірно розподілені шматочки м'яса і грибів і невелику кількість желеподібного бульйону.

Другий запропонований варіант мав більше розбіжностей з контрольним зразком і еталонними значеннями. Вона оцінена нижче за зовнішнім виглядом, кольором і консистенцією, що мабуть пов'язано з процентним співвідношенням м'ясної і рослинної сировини.

Для порівняння корисних властивостей модельних зразків було зроблено хімічний аналіз їх складу на підставі даних довіднику хімічного складу харчових продуктів (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Хімічний склад основних нутрієнтів модельних зразків м'ясних консервних виробів з грибами

Показник	Каша гречана зі свининою		Варіант I		Варіант II	
	г /100 г	% доб. потреби	г /100 г	% доб. потреби	г /100 г	% доб. потреби
Білки	19,2	20,9	17,1	18,6	13,8	15,0
Жири	12,1	18,1	11,4	17,0	9,3	13,9
Вуглеводи	14,0	10,0	1,7	1,2	2,3	1,6
Вода	51,0	1,9	68,0	2,5	73,0	2,7
Клітковина	2,9	14,5	0,8	4,0	1,2	6,0

Таблиця 4

Мікронутрієнтний склад модельних зразків м'ясних консервних виробів з грибами

Кількість мікронутрієнтів (вітамінів, мінералів),%											
Зразок				Варіант I				Варіант II			
вітамінів		мінералів		вітамінів		мінералів		вітамінів		мінералів	
B_1	26,0	*K*	14,0	B_1	21,0	*K*	14,0	B_1	18,0	*K*	14,0
B_2	14,0	*Ca*	1,8	B_2	16,0	*Ca*	1,4	B_2	16,0	*Ca*	1,2
B5	18,0	*Si*	64,0	B_5	22,0	*Si*	1,8	B_5	22,0	*Si*	1,9
B_6	17,0	*Mg*	15,0	B_6	13,0	*Mg*	5,0	B_6	11,0	*Mg*	4,8
B_9	2,9	*Na*	4,9	B_9	3,2	*Na*	5,1	B_9	4,5	*Na*	4,2
B_{12}	16,0	*P*	29,0	B_{12}	16,0	*P*	24,0	B_{12}	12,0	*P*	21
D	7,2	*Fe*	12,0	*D*	8,8	*Fe*	5,5	*D*	8,2	*Fe*	5,8
E	8,4	*Mn*	20,0	*E*	7,1	*Mn*	3,2	*E*	6,9	*Mn*	3,8
H	4,8	*Cu*	23,0	*H*	5,3	*Cu*	13,0	*H*	8,6	*Cu*	16,0
PP	15,0	*Se*	37,0	*PP*	23,0	*Se*	36,0	*PP*	23,0	*Se*	29,0

Аналіз отриманих даних свідчить, що м'ясо-рослинні консерви I варіанту де кількість рослинних компонентів становить 23% за нутрієнтним складом трохи поступаються контрольному зразку, але мають вищі показники кількості вітамінів (B_1, B_3, B_6, B_{12}, Д, Е), мінералів (Na, P, Se, Zn) ніж у другому варіанті де 38% м'ясної сировини замінено грибами.

Отже, з точки зору макро- і мікокронутрієнтного складу найбільш оптимальним є відсоткове (%) співвідношення м'ясної сировини до рослинної 65/23.

Оцінка якості готової продукції за загальними показниками проведена після витримки в термостаті згідно прийнятим методам дослідження (табл. 5).

Таблиця 5

Показники якості готової продукції

Показник	Каша гречана зі свининою	Варіант I	Варіант II
Кислотне число, мг КОН/г	1,07±0,02	1,03±0,01	1,04±0,01
Масова частка солі, %	1,5±0,08	1,4±0,06	1,3±0,04
Масова частка м'яса і жиру, % не менше	60,0±0,4	58,0±0,5	48,0±0,4
Масова частка жиру, % не більше	25,0±0,2	22,0±0,3	23,5±0,1
Сторонні домішки	не виявлено	не виявлено	не виявлено

Проведені дослідження показують, що під час закладання компонентів м'ясна сировина була свіжою з відповідною якістю. Масова частка жиру становить не більше 25% для контрольного зразка і від 22 до 23,5% для дослідних зразків, що є у межах нормативних показників.

Як свідчить аналіз показників розробленої продукції, додавання грибної сировини до м'яса свинини у кількості 23% має добрі показники харчової цінності, сенсорного аналізу, фізико – хімічні властивості, що є передумовою для розробки технічних умов на м'ясо-рослинні консерви «Свинина з грибами» і подальшого впровадження у серійне виробництво на даному підприємстві.

Враховуючи збільшені вимоги до якості продукції, що випускається, на підприємствах м'ясної промисловості впроваджується комплексна система управління якістю, що поєднує технічні, економічні, соціальні та організаційні заходи. На приватному підприємстві «Наш продукт» впроваджена система аналізу небезпечних чинників для технологій виробництва окремих видів продукції, а саме м'ясо-рослинних консервів, томатної пасти.

Аналізуючи технологічну схему виробництва запропонованої м'ясо-грибної консервованої продукції, можна виділити декілька етапів на яких є ймовірність забруднення сировини, тобто ризик виникнення біологічних, хімічних, фізичних небезпек і тим самим виділити критичні контрольні точки на які слід звернути увагу під час процесу виробництва (рис. 2).

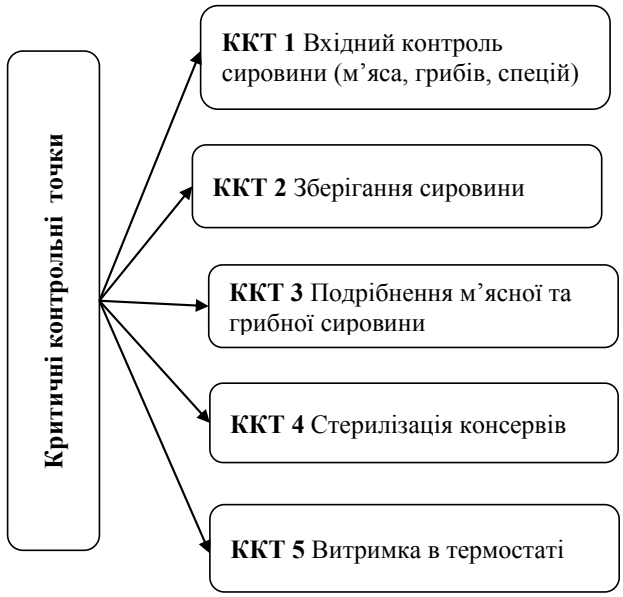


Рис. 2. Критичні контрольні точки під час технологічного процесу виробництва м'ясо-грибних консервів

Першою критичною контрольною точкою (ККТ 1) є приймання сировини (насамперед м'яса) від якості та безпеки якої, залежить і стан готових виробів. Під час приймання м'ясної сировини, необхідно звернути увагу на довідки які підтверджують придатність даного м'яса для виробництва консервів, а також при підозрі на порушення умов транспортування, зберігання провести бактеріологічний вхідний контроль.

Не менш важливим етапом є визначення відповідності нормативним показникам щодо сторонніх домішок у грибній сировині (допустимі рівні залишків важких металів, нітратів), забруднення піском, ґрунтом та ін. Наявність сертифіката якості від виробника рослинної продукції обов'язкова.

Друга критична контрольна точка (ККТ 2) стосується умов зберігання м'яса, грибів, а саме режиму температури, вологі та терміну зберігання. Для цього проводять моніторинг показників мікроклімату та контроль за терміном надходження сировини і використання за призначенням.

Подрібнення м'яса є третьою критичною контрольною точкою (ККТ 3). Під час подрібнення відбувається перерозподіл мікрофлори яка є на поверхні м'яса і чим дрібніше шматки тим більша кількість мікроорганізмів може з'явитися у сировини. Тому цей процес необхідно проводити досить швидко при певних температурних режимах. Також на якість отриманого напівфабрикату впливає початкова кількість мікроорганізмів яка присутня на поверхні туші.

Наступною контрольною точкою (ККТ 4) є стерилізація продукції. Відомо, що при недотриманні умов стерилізації спори анаеробних мікроорганізмів здатні не лише залишатися життєздатними, але й проростати під час термостатної витримки або в процесі зберігання консервів. Це може стати небезпечним біологічним фактором при споживанні такого продукту. На цій точці необхідно здійснювати контроль за режимами стерилізації: температурою та часом витримки.

Витримка у термостатній кімнаті готової продукції є останньою критичною контрольною точкою (ККТ 5). Даний технологічний процес проводять з метою виявлення ознак росту мезофільних анаеробних мікроорганізмів, тобто тих які викликають здуття банок утворюючи справжній мікробіологічний бомбаж. При вживанні такого продукту є загроза виникнення харчового мікробного токсикозу викликаного ботулізмом. При виявленні банок з ознаками бомбажу, необхідно проводити додаткові дослідження для визначення природи цієї вади.

Необхідно зазначити, що на підприємстві «Наш продукт» дотримуються основних вимог до сировини, належного санітарно-гігієнічного забезпечення процесу виробництва, що сприяє випуску доброякісної продукції.

Висновки і пропозиції. Проведений хімічний аналіз свинини і гливи звичайної які є основною сировиною при створенні м'ясних готових страв, свідчить про добрий баланс між складовими нутрієнтами. Такі складові гливи звичайної як вуглеводи, клітковина можуть компенсувати надмірну кількість жиру яку містить свинина, утворивши полікомпонентний комплекс. За рахунок введення грибів частково задовольняється потреба у цинку і вітамінах групи В (B_2,B_3,B_5, B_6, B_9), вітаміні Д, Е, біотині.

Аналіз сенсорної та профільної оцінки розробленої продукції свідчить про досить привабливі і гармонійні поєднання компонентів консерви у першому варіанті де вміст грибної сировини становить 23%. Проведені дослідження готових виробів показують, що кислотне число яке характеризує ступінь окислення жирів знаходиться в межах норми, це свідчить про те, що під час закладання компонентів м'ясна сировина була свіжою з відповідною якістю. Масова частка жиру становить не більше 25% для контрольного зразка і від 22 до 23,5% для дослідних зразків, що є у межах нормативних показників.

Розроблена консервна продукція «Свинина з грибами» має функціональну спрямованість, добрі показники харчової цінності, сенсорного аналізу, фізико – хімічні властивості, готова до споживання як у холодному так і підігрітому вигляді. Це є передумовою для розробки технічних умов на м'ясо-грибні консерви «Свинина з грибами» і можливого подальшого впровадження у серійне виробництво на приватному підприємстві «Наш продукт» м. Херсон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лялик А., Криськова Л., Кравчук Л. Концепція функціональних харчових продуктів. «*Стан і перспективи харчової науки та промисловості»: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (24 травня 2017)Тернопіль* 2017. С. 114-115.

2. Стеценко Н.О. Функціональні харчові продукти у забезпеченні здоров'я людини. Die Relevanz und die Neuheit der modernen wissenschaftlichen Studien : der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΌГОΣ» zu den Materialien der internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz, Wien, 23 August, 2019. Wien : NGO «Europäische Wissenschaftsplattform». 2019. B. 3. S. 56-59.

3. Власенко В.В., Бондар М.М., Семко Т.В., Соломон А.М. Функціональні харчові продукти з наповнювачами. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2016. № 3 (95). С. 106-109.

4. Корзун, В. Н., Тихоненко Ю. С. Функціональні продукти і їх роль у харчуванні людини. *Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]* № 38 (2). 2010. С. 173-178.

5. Kaldarbekova M, Uzakov Y, Chernukha I (2019) A study of the process of salting of horse meat with the use of a biological product, electro mash service and machining. The 5th International youth conference "Perspectives of science and education" (May 10, 2019) SLOVO\WORD, New York, USA. https://doi.org/10.29013/V-Conf-USA-6-92-101.

6. Stratakos, A. C., & Koidis, A. (2015). Suitability, efficiency and microbiological safety of novel physical technologies for the processing of ready-to-eat meals, meats and pumpable products. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(6), 1283-1302.

7. Жулінська О.В., Свідло К.В., Половін Б.А. Визначення нормативних параметрів якості і безпечності функціональних харчових продуктів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій.* 2017. № 23. С. 217-225.

8. Борсолюк Л.М., Войцехівська Л.І., Вербицький С.Б., Лизова В.Ю. Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей рослинної сировини у складі функціональних паштетних продуктів. *Продовольчі ресурси*. 2017. № 9. С. 126-135.

9. Коваль, О.А. М'ясо-рослинні напівфабрикати підвищеної біологічної цінності. *Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості* : міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій, 13-17 жовтня 2014 р. К. : НУХТ, 2014. С. 612.

10. Молоканова Л. В., Лукомський Ю. О. Зміни мінерального складу січених напівфабрикатів при варіації сировинних компонентів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2013. № 4. С. 227-231.

11. Бажай-Жежерун С.А. Використання біоактивованого нуту для збагачення м'ясо-рослинних консервів. Strategy of Quality in Industry and Education : Proceedings of the XVI International Conference. Varna, Bulgaria, 2021. P. 29–33.

12. Сычев П. А., Ткаченко Н.П. Грибы и грибоводство Д.: «Изд-во Сталкер», 2003. 512 с. ISBN 8-401-86974-3.

13. Wan Rosli, W. I., Solihah, M. A., Aishah, M., Nik Fakurudin, N. A. and Mohsin, S. S. J. 2011b. Colour, textural properties, cooking characteristics and fibre content of chicken patty added with oyster mushroom (Pleurotus sajor-caju): International Food Research Journal 18: 612-618.

14. Chockchaisawasdee, S., Namjaidee, S., Pochana, S. and Stathopoulos, C. E. 2010. Development of fermented oyster-mushroom sausage. Asian Journal of Food and Agro-Industry 3: 35-43.

15. Corrêa, R. C. G., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R. M., & Ferreira, I. C. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of Pleurotus spp.(Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 103-117.

REFERENCES:

1. Lyalyk A., Krys′kova L., Kravchuk L. Kontseptsiya (2017) Funktsional′nykh kharchovykh produktiv. [The concept of functional foods]. «Stan i perspektyvy kharchovoyi nauky ta promyslovosti»: tezy dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi (24 travnya 2017, Ternopil′). [State and prospects of food science and industry": abstracts of the International Scientific and Technical Conference].(May 24, 2017, Ternopil) 114-115. [in Ukrainian].

2. Stetsenko N.O. (2019) Functional foods in human health. [Functional foods in human health].The Relevance and Neighborhood of Modern Scientific Studies: The Summary of Scientific Work "ΛΌΓΟΣ" on the Materials of the International Scientific and Practical Conference, (23 August, 2019, Vienna): NGO "European Science Platform" [The Relevance and Neighborhood of Modern Scientific Studies: The Summary of Scientific Work "ΛΌΓΟΣ" on the Materials of the International Scientific and Practical Conference (Vienna, 23 August, 2019). Vienna: NGO "European Science Platform"], 56–59. [in Austria].

3. Vlasenko V.V., Bondar M.M., Semko T.V., Solomon A.M. (2016) Funktsional′ni kharchovi produkty z napovnyuvachamy. [Functional food products with fillers]. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. [Engineering, energy, transport of agro-industrial complex], no 3 (95), 106-109. [in Ukrainian].

4. Korzun, V.N., Tykhonenko YU.S. (2010) Funktsional′ni produkty i yikh rol′ u kharchuvanni lyudyny. [Functional products and their role in human nutrition]. Naukovi pratsi Odes′koyi natsional′noyi akademiyi kharchovykh tekhnolohiy [Scientific works Odessa National Academy of Food Technologies], no 38 (2), 173-178. [in Ukrainian].

7. Zhulins′ka O.V., Svidlo K.V., Polovin B.A. (2017) Vyznachennya normatyvnykh parametriv yakosti i bezpechnosti funktsional′nykh kharchovykh produktiv. [Determination of normative parameters of quality and safety of functional food products]. Naukovi pratsi Natsional′noho universytetu kharchovykh tekhnolohiy. [Scientific works of the National University of Food Technologies], no 23, 217-225. [in Ukrainian].

8. Borsolyuk L.M., Voytsekhivs′ka L.I., Verbyts′kyy S.B., Lyzova V.Y. (2017) Doslidzhennya fizyko-khimichnykh i tekhnolohichnykh vlastyvostey roslynnoyi syrovyny u skladi funktsional′nykh pashtetnykh produktiv. [Research of physicochemical and technological properties of vegetable raw materials as a part of functional pate products]. Prodovol′chi resursy.[Food resources], no 9, 126-135. [in Ukrainian].

9. Koval′, O.A. (2014) M'yaso-roslynni napivfabrykaty pidvyshchenoyi biolohichnoyi tsinnosti. [Meat and vegetable semi-finished products of high biological value] Novi ideyi v kharchoviy nautsi – novi produkty kharchoviy promyslovosti : mizhnarodna naukova konferentsiya, prysvyachena 130-richchyu Natsional′noho universytetu kharchovykh tekhnolohiy, (13-17 zhovtnya 2014 r., m. Kyiv: NUKHT), 612. [New ideas in food science – new products of the food industry: international scientific conference dedicated to the 130th anniversary of the National University of Food Technology, (October 13-17, 2014, m. Kyiv: NUHT], 612. [in Ukrainian].

10. Molokanova L. V., Lukoms′kyy YU. O. (2013) Zminy mineral′noho skladu sichenykh napivfabrykativ pry variatsiyi syrovynnykh komponentiv. [Changes in the mineral composition of chopped semi-finished products with variations in raw materials]. Visnyk Chernihivs′koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. [Chernihiv State Technological University. Series: Technical Sciences] no 4 . 227-231. [in Ukrainian].

11. Bazhay-Zhezherun S.A. (2021) Vykorystannya bioaktyvovanoho nutu dlya zbahachennya m'yaso-roslynnykh konserviv. [Use of bioactivated chickpeas to enrich canned meat and vegetables] Strategy of Quality in Industry and Education : Proceedings of the XVI International Conference. – Varna, Bulgaria, 2021. [Strategy of Quality in Industry and Education: Proceedings of the XVI International Conference. Varna, Bulgaria, 2021], 29–33. [in Bulgaria].

12. Sychev P. A., Tkachenko N.P. (2003) Hryby y hrybovodstvo [Mushrooms and mushroom growing] D.: «Yzd-vo Stalker», [Donetsk: Stalker Publishing House] 512 s. ISBN 8-401-86974-3. [in Ukrainian].

13. Wan Rosli, W.I., Solihah, M.A., Aishah, M., Nik Fakurudin, N.A. and Mohsin, S.S. J. (2011). Colour, textural properties, cooking characteristics and fibre content of chicken patty added with oyster mushroom (Pleurotus sajor-caju): International Food Research Journal 18: 612-618. [in Malasya].

14. Chockchaisawasdee, S., Namjaidee, S., Pochana, S. and Stathopoulos, C.E. (2010). Development of fermented oyster-mushroom sausage. Asian Journal of Food and Agro-Industry 3: 35-43. [in Thailand].

15. Corrêa, R.C. G., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R.M., & Ferreira, I.. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of Pleurotus spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. Trends in Food Science & Technology, 50, 103-117. [in Brazil].

УКД 65.012.122
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.19

ВПЛИВ ОСМОТИЧНОЇ ДЕГІДРАТАЦІЇ НА АМІНОКИСЛОТНИЙ СКЛАД *SORBUS AUCUPARIA*

Самілик М. М. *– кандидат технічних наук, доцент,*
завідувач кафедри технологій та безпечності харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080

В роботі досліджено вплив осмотичної дегідратації на амінокислотний склад Sorbus aucuparia. Запропоновано спосіб переробки плодів Sorbus aucuparia, який передбачає попереднє заморожування, яке дозволяє зменшити їх гіркість та підвищити антиоксидантні властивості за рахунок підвищення концентрації сорбінової кислоти. При осмотичній дегідратації у концентрованому цукровому розчині (70%) із ягід видаляється частина води (10-15%), що дозволяє зменшити енерговитрати на процес висушування. Результати амінокислотного спектру показали, що у плодах горобини міститься найбільша концентрація наступних амінокислот мг/100г: серину – 65,41; проліну – 35,82, аспарагінової кислоти – 20,07, глутамінової кислоти – 14,96 та треоніну 7,23. Разом із клітинним соком у сироп переходить частина амінокислот та інших біологічно-активних речовин. Деякі амінокислоти дифундують майже на 50%: треонін – 2,52 мг/100 г (із 7,23), гліцин – 0,3 мг/100 г (із 0,79), аланін – 1,67 мг/100 г (із 2,25), лізин – 0,46 мг/100г (із 1,12). Найбільшу концентрацію в порошках, виготовлених із перероблених ягід горобини становили глутамінова кислота – 1570 мг/100 г, аспарагінова кислота – 1250 мг/100 г, аміак – 490 мг/100 г, гліцин – 450 мг/100 г та серин – 380 мг/100 г. Глутамінова кислота, яка у великій кількості міститься у порошках із плодів горобини, надає стабілізуючу дію продуктам при зберіганні. Її, як добавку Е620, додають до консервів, харчоконцентратів, кулінарних виробів для підсилення їх смаку та до жирів для подовження терміну зберігання. Висушування дозволяє підвищити концентрацію амінокислот у продуктах переробки ягід Sorbus aucuparia. Отримані таким способом порошки можуть стати харчовими добавками з гарними органолептичними властивостями, здатними покращувати амінокислотний склад харчових продуктів.

Ключові слова: *осмотична дегідратація, Sorbus aucuparia, амінокислоти, харчові добавки.*

Samilyk M. M. Effect of osmotic dehydration on the amino acid composition of Sorbus aucuparia

The effect of osmotic dehydration on the amino acid composition of Sorbus aucuparia was studied in this work. A method for processing Sorbus aucuparia fruits is proposed, which involves preliminary freezing, which makes it possible to reduce their bitterness and increase antioxidant properties by increasing the concentration of sorbic acid. During osmotic dehydration in a concentrated sugar solution (70%), part of the water (10-15%) is removed from the berries, which makes it possible to reduce energy costs for the drying process. The results of the amino acid spectrum showed that rowan fruits contain the highest concentration of the following amino acids mg/100g: serine – 65.41; proline – 35.82, aspartic acid – 20.07, glutamic acid – 14.96 and threonine 7.23. Together with the cell sap, part of the amino acids and other biologically active substances pass into the syrup. Some amino acids diffuse by almost 50%: threonine – 2.52 mg / 100 g (from 7.23), glycine – 0.3 mg / 100 g (from 0.79), alanine – 1.67 mg / 100 g (s 2.25), lysine – 0.46 mg/100 g (s 1.12). The highest concentrations in powders made from processed rowan berries were glutamic acid – 1570 mg / 100 g, aspartic acid – 1250 mg / 100 g, ammonia – 490 mg / 100 g, glycine – 450 mg / 100 g and serine / 100 g. Glutamic acid, contained in large quantities in powders from rowan fruits, has a stabilizing effect on products during storage. It, as an additive E620, is added to canned food, food concentrates, culinary products to enhance their taste and fats to extend the shelf life. Drying allows you to increase the concentration of amino acids in the processed products of Sorbus aucuparia berries. Powders obtained in this way can become food additives with good organoleptic properties, capable of improving the amino acid composition of food products.

Key words: *osmotic dehydration, Sorbus aucuparia, amino acids, nutritional supplements.*

Постановка проблеми. Виклики, які останнім часом постали перед Україною, показали важливість локальної переробки сировини. В умовах війни, за відсутності нормальної логістики, для забезпечення продовольчої безпеки доцільно організовувати виробництво в зоні вирощування сировини. До того ж слід використовувати сировину, яка має високу біологічну цінність і не потребує значних ресурсів на вирощування. Такою сировиною можуть стати дикорослі ягоди, які є суперфудами, оскільки містять значну кількість біологічно-активних речовин.

Масове застосування дикорослої сировини стримується особливостями її переробки. Порівняно з культурними рослинами, дикорослі ягоди мають менший вихід соку, потребують залучення ручної праці для сортування та очищення. Ряд стримуючих факторів негативно впливають на можливості застосування цієї сировини у промисловому виробництві. Проте, їх висока біологічна цінність і лікувально-профілактичні властивості сприяють постійній цікавості з боку науковців та переробників, особливо закордонних.

Не вирішеною проблемою залишається питання визначення раціонального способу переробки сировини, який дозволить зберегти її властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вже проведено дослідження щодо можливості застосування порошків із деяких дикорослих ягід (*Sambucus nigra*, *Viburnum opulus*, *Hippophae rhamnoides L.*) у виробництві макаронних виробів з метою збагачення їх харчовими волокнами [1]. Запропоновано технологію хліба із подовженим терміном зберігання із порошком Sorbus aucuparia [2]. Ці дослідження підтвердили високу біологічну і харчову цінність дикорослих ягід.

Тому, в якості об'єкта дослідження обрано горобину звичайну *Sorbus aucuparia L.*, яка широко розповсюджена не лише в Україні, а й по всій Європі. Плоди горобини є багатим джерелом вітамінів, полісахаридів, органічних кислот і мінералів [3]. Перероблені ягоди горобини зазвичай використовуються для виробництва джемів, желе, соків, сиропів, алкогольних напоїв (вина, гірких настоянок, лікерів) та інш.

Вони є джерелом натуральних дієтичних поліфенолів, які часто застосовуються для профілактики багатьох серйозних хвороб [4]. Традиційно горобина використовується як лікарський засіб, який в першу чергу використовується для лікування діабету та профілактики серцево-судинних захворювань [5]. В роботі [6] було оцінено механізми біоактивності *Sorbus aucuparia L.*, як засобу при лікуванні цукрового діабету та серцево-судинних хвороб. Було доведено, що екстракти горобини значно інгубують утворення кінцевих продуктів глікування, нейтралізують оксид анти, які утворюють in vivo, підвищують неферментативну антиоксидантну здатність плазми людини і захищають компоненти плазми.

В горобинових екстрактах було знайдено 51 феноли, флавоноли, похідні флаванолу та прості фенольні кислоти. Екстракти показували високу інгібіторну активність. Ці результати підтверджують, що горобина має лікувальні властивості проти діабету [7]. Велику кількість фенолів у складі *Sorbus aucuparia L.* було підтверджено і іншими дослідниками [8; 9].

Є дослідження, присвячені вивченню протидіабетичної дії плодів *S. Aucuparia*. Досліджень, що показують протидіабетичну активність плодів *S. torminalis*, не було виявлено. У цих дослідженнях антидіабетичний ефект екстракту плодів *S. Aucuparia* визначали шляхом вимірювання інгібуючої активності α-амілази [10] та інгібуючої активності α-глюкозидази [11].

Ягоди горобини містять фітохімічні речовини, такі як вітаміни, каротиноїди та фенольні кислоти, а також важливі мінерали (залізо, калій та магній). Крім того,

ягоди горобини містять солодкий на смак цукровий спирт сорбіт, який повільно метаболізується в організмі людини і тому підходить як підсолоджувач для людей, які страждають на діабет [12]. Відмічається висока вітамінна активність горобини і іншими дослідниками. За вмістом вітаміну С вона не поступається деяким сортам чорної смородини [13].

До складу горобини входить парасорбінова кислота (надає їй гіркого смаку). Ця кислота знаходиться як у вільному стані так і у вигляді моноглікозиду, який руйнується при заморожуванні, а концентрація сорбінової кислоти зростає [14].

Таким чином, корисні властивості *Sorbus aucuparia L.* не викликають жодних сумнівів. Залишається відкритим питання вибору способу її переробки. Важливо, щоб після переробки зберігалися корисні властивості горобини.

Метою роботи є дослідження впливу осмотичної дегідратації на амінокислотний склад *Sorbus aucuparia*.

Результати досліджень. Запропоновано технологію переробки горобини, в основі якої лежить процес осмотичної дегідратації [15]. Під час осмотичної дегідратації відбувається часткове видалення води із плодів шляхом занурення в концентровані водні розчини з високими осмотичними властивостями. При цьому інтенсивність переходу води залежить від тривалості та температури (рис. 1).

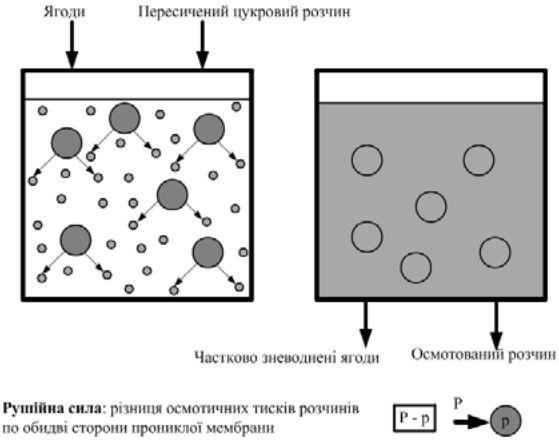


Рис. 1. Сутність процесу осмотичної дегідратації

Запропонований спосіб передбачає попереднє заморожування плодів *Sorbus aucuparia*, це дозволяє зменшити їх гіркість та підвищити антиоксидантні властивості за рахунок підвищення концентрації сорбінової кислоти. Після дефростації при температурі 0-5ºС, проводиться їх часткове зневоднення в гіпертонічному цукровому розчині (70 %) методом осмотичної дегідратації протягом 1 години. Частково зневоднені ягоди відокремлюються від осмотичного розчину та висушуються в інфрачервоній сушарці при температурі 50°С. Висушені похідні продукти переробки ягід подрібнюються у тонкодисперсні порошки. Отримані порошки можуть бути харчовою добавкою при виробництві багатьох продуктів. Їх використання дозволить підвищити вміст вітамінів, мінеральних речовин та харчових волокон.

Осмотичний розчин, який використовуються для дегідратації, також може стати сировиною для збагачення цукру, виробництва напоїв та кондитерських виробів. Разом із клітинним соком у нього переходять із плодів деякі біологічно-активні речовини.

Хроматографічним методом було досліджено амінокислотний склад плодів горобини та продуктів її переробки. Результати переходу амінокислот у осмотичний розчин представлено на рис. 2.

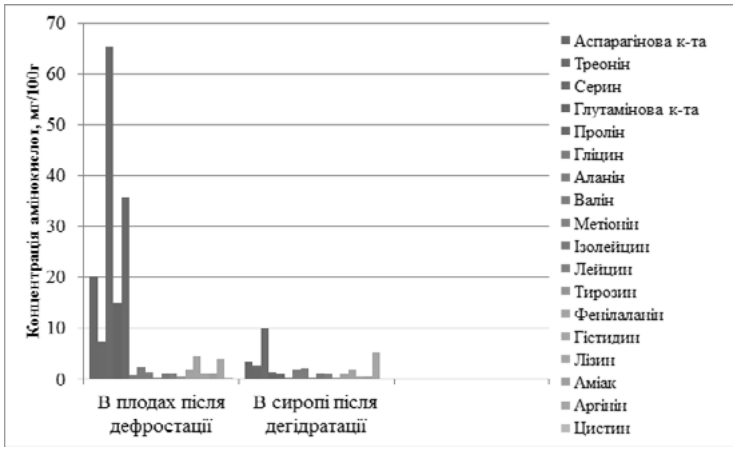


Рис. 2. Концентрація амінокислот у цукровому сиропі після осмотичної дегідратації

Результати амінокислотного спектру показали, що у плодах горобини міститься найбільша концентрація наступних амінокислот мг/100г: серину – 65,41; проліну – 35,82, аспарагінової кислоти – 20,07, глутамінової кислоти – 14,96 та треоніну 7,23. Відомо, що серин бере участь в утворенні молекул ДНК та РНК і відіграє важливу роль в обмінних реакціях організму, забезпечуючи синтез гліцину та сірковмісних амінокислот. Ця амінокислота надзвичайно важлива для роботи головного мозку. Пролін потрібний для формування з'єднувальних тканин, а аспарагінова кислота стимулює синтез білка. Під час дегідратації частина амінокислот переходить у сироп. Варто зазначити, що деякі амінокислоти дифундують майже на 50%: треонін – 2,52 мг/100 г (із 7,23), гліцин – 0,3 мг/100г (із 0,79),

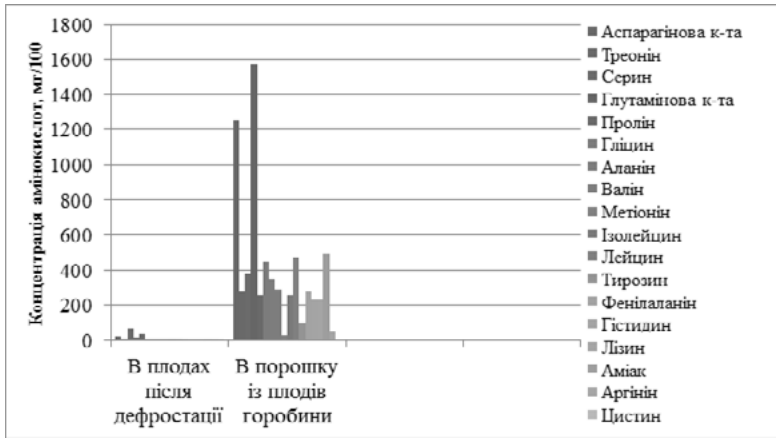


Рис. 3. Концентрація амінокислот у порошках із похідних переробки Sorbus aucuparia

аланін – 1,67 мг/100 г (із 2,25), лізин – 0,46 мг/100г (із 1,12). Концентрація валіну, метіоніну, ізолейцину та аргініну підвищується.

При висушуванні концентрація амінокислот у кінцевому продукті значно збільшується (рис. 3).

Найбільшу концентрацію в порошках, виготовлених із перероблених ягід горобини, становили наступні амінокислоти, мг/100 г: глутамінова кислота – 1570, аспарагінова – 1250, аміак – 490, гліцин – 450 та серин – 380. В наслідок ферментативного перетворення глутамінова кислота, яка у великій кількості міститься у порошках із плодів горобини, під дією ферменту глутаматдекарбоксилази перетворюється у γ-аміномасляну кислоту, яка є медіатором процесу гальмування в нейронах головного мозку. Похідні глутамінової кислоти надають стабілізуючу дію продуктам при зберіганні. Її, як добавку Е620, додають до консервів, харчоконцентратів, кулінарних виробів для підсилення їх смаку та до жирів для подовження терміну зберігання.

Висушування дозволяє підвищити концентрацію амінокислот у продуктах переробки ягід *Sorbus aucuparia*. Отримані таким способом порошки можуть стати харчовими добавками з гарними органолептичними властивостями, здатними покращувати амінокислотний склад харчових продуктів.

Висновки і пропозиції. При проведенні дослідження було встановлено, що процес осмотичної дегідратації дозволяє зберегти біологічну цінність продуктів переробки *Sorbus aucuparia.* Ці похідні продукти переробки можна використовувати в якості харчових добавок при виробництві багатьох харчових продуктів для покращення їх амінокислотного складу.

Перспективою подальших досліджень є вивчення впливу процесу осмотичної дегідратації на вміст вітамінів у похідних продуктах переробки *Sorbus aucuparia.*

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Samilyk M., Demidova E., Bolgova N., Kapitonenko A., Cherniavska T. Influence of adding wild berry powders on the quality of pasta products. *«EUREKA: Life Sciences».* 2022. Num. 2. P.28-35. DOI: 10.21303/2504-5695.2022.002410.

2. Samilyk M., Demidova E., Bolgova N., Savenko O., Cherniavska T. Development of bread technology with high biological value and increased shelf life. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 2(11 (116)). 52–57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255605.

3. Zlobin A. A., Martinson E. A., Litvinets S. G., Ovechkina I. A., Durnev, E. A., & Ovodova R. G. Pectin polysaccharides of rowan Sorbus aucuparia L. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2012. 38(7). 702–706. https://doi.org/10.1134/S1068162012070242.

4. Tangney C. C., & Rasmussen H. E. Polyphenols, Inflammation, and Cardiovascular Disease. *Current Atherosclerosis Reports*. 2013. 15(5). 324. https://doi.org/10.1007/s11883-013-0324-x.

5. Shikov A. N., Pozharitskaya O. N., Makarov V. G., Wagner H., Verpoorte R., & Heinrich M. Medicinal plants of the Russian Pharmacopoeia; their history and applications. *Journal of Ethnopharmacology.* 2014. 154(3). 481–536. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.04.007.

6. Rutkowska M., Kolodziejczyk-Czepas J., Owczareka A., Zakrzewska A., Magiera A, A.Olszewska M. Novel insight into biological activity and phytochemical composition of Sorbus aucuparia L. fruits: Fractionated extracts as inhibitors of protein glycation and oxidative/nitrative damage of human plasma components *Food Research International*. 2021 Vol.147. 110526. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110526.

7. Hasbal G., Yilmaz Ozden T, Can A. In vitro Antidiabetic Activities of Two Sorbus Species. *Eur J Biol.* 2017. 76(2). 57-60.

8. Olszewska MA, Michel P. Antioxidant activity of inflorescences, leaves and fruits of three Sorbus species in relation to their polyphenolic composition. *Nat Prod Res.* 2009. 23(16). 1507-21.

9. Mrkonjić ZO, Nađpal J, Beara I, Sabo VA, Četojević-Simin D, Mimica-Dukić N, et al. Phenolic profiling and bioactivities of fresh fruits and jam of Sorbus species. *J Serb Chem Soc.* 2017. 82(6). 651-64.

10. Grussu D, Stewart D, McDougall GJ. Berry polyphenols inhibit α-amylase in vitro: identifying active components in rowanberry and raspberry. *J Agr Food Chem*. 2011. 59(6). 2324-31.

11. Boath AS, Stewart D, McDougall GJ. Berry components inhibit α-glucosidase in vitro: Synergies between acarbose and polyphenols from black currant and rowanberry. *Food Chem.* 2012. 135(3). 929-36.

12. Termentzi A., Alexiou P., Demopoulos V.J., Kokkalou E. The aldose reductase inhibitory capacity of Sorbus domestica fruit extracts depends on their phenolic content and may be useful for the control of diabetic complications. *Die Pharmazie – An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2008. 63(9). 693–696(4). https://doi.org/10.1691/ph.2008.8567.

13. Оболкіна В., Сівний І., Крапивницька І. Новітня технологія заварного білкового крему із застосуванням пюре з горобини. *Хлебный и кондитерский бизнес*. 2015. № 6 (29). 32–33.

14. Гуменюк О.Л., Ксенюк М.П., Зінченко Ю.С., Деркач Т.Л. Доцільність використання плодів горобини для попередження пліснявіння хліба. *Харчова промисловість*. 2016. №19. 66-72.

15. Yadav A.K., Singh S.V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. Food Sci Technol. 2014. № 51 (9). P. 1654–1673.

REFERENCES:

1. Samilyk, M. Demidova, E., Bolgova, N., Kapitonenko, A., Cherniavska, T. (2022). Influence of adding wild berry powders on the quality of pasta products. *«EUREKA: Life Sciences»,* 2, 28-35. DOI: 10.21303/2504-5695.2022.002410 [in English].

2. Samilyk, M., Demidova, E., Bolgova, N., Savenko, O., Cherniavska, T. (2022). Development of bread technology with high biological value and increased shelf life. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (116)), 52–57. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255605 [in English].

3. Zlobin, A. A., Martinson, E. A., Litvinets, S. G., Ovechkina, I. A., Durnev, E. A., & Ovodova, R. G. (2012). Pectin polysaccharides of rowan Sorbus aucuparia L. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 38(7), 702–706. https://doi.org/10.1134/S1068162012070242 [in English].

4. Tangney, C. C., & Rasmussen, H. E. (2013). Polyphenols, Inflammation, and Cardiovascular Disease. *Current Atherosclerosis Reports*, 15(5), 324. https://doi.org/10.1007/s11883-013-0324-x [in English].

5. Shikov, A. N., Pozharitskaya, O. N., Makarov, V. G., Wagner, H., Verpoorte, R., & Heinrich, M. (2014). Medicinal plants of the Russian Pharmacopoeia; their history and applications. *Journal of Ethnopharmacology*, 154(3), 481–536. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.04.007 [in English].

6. Rutkowska M., Kolodziejczyk-Czepas J., Owczareka A., Zakrzewska A., Magiera A, A.Olszewska M. (2021). Novel insight into biological activity and phytochemical composition of Sorbus aucuparia L. fruits: Fractionated extracts as inhibitors of protein glycation and oxidative/nitrative damage of human plasma components. *Food Research International*, 147, 110526. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.11052 [in English].

7. Hasbal, G, Yilmaz Ozden, T, Can, A. (2017). In vitro Antidiabetic Activities of Two Sorbus Species. *Eur J Biol*, 76(2), 57-60 [in English].

8. Olszewska, MA, Michel, P. (2009). Antioxidant activity of inflorescences, leaves and fruits of three Sorbus species in relation to their polyphenolic composition. *Nat Prod Res*, 23(16), 1507-21 [in English].

9. Mrkonjić, ZO, Nađpal, J, Beara, I, Sabo, VA, Četojević-Simin, D, Mimica-Dukić, N, et al. (2017). Phenolic profiling and bioactivities of fresh fruits and jam of Sorbus species. *J Serb Chem Soc*, 82(6), 651-64. [in English].

10. Grussu, D, Stewart, D, McDougall, GJ. (2011). Berry polyphenols inhibit α-amylase in vitro: identifying active components in rowanberry and raspberry. *J Agr Food Chem*, 59(6), 2324-31[in English].

11. Boath, AS, Stewart, D, McDougall, GJ. (2012). Berry components inhibit α-glucosidase in vitro: Synergies between acarbose and polyphenols from black currant and rowanberry. *Food Chem*, 135(3), 929-36 [in English].

12. Termentzi, A., Alexiou, P., Demopoulos, V.J., Kokkalou, E. (2008). The aldose reductase inhibitory capacity of Sorbus domestica fruit extracts depends on their phenolic content and may be useful for the control of diabetic complications. Die Pharmazie – An International Journal of Pharmaceutical Sciences, 63(9), 693–696 https://doi.org/10.1691/ph.2008.8567 [in English].

13. Obolkina, V., Sivnyy, I., Krapyvnyts′ka, I. (2015). Novitnya tekhnolohiya zavarnoho bilkovoho kremu iz zastosuvannyam pyure z horobyny. *Khlebnyy y kondyterskyy byznes*, 6 (29), 32–33 [in Ukrainian].

14. Humenyuk, O.L., Ksenyuk, M.P., Zinchenko, YU.S., Derkach, T.L. (2016). Dotsil′nist′ vykorystannya plodiv horobyny dlya poperedzhennya plisnyavinnya khliba. *Kharchova promyslovist'*, 19, 66-72. [in Ukrainian].

15. Yadav, A.K., Singh, S.V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Food Sci Technol*, 51 (9), 1654–1673 [in English].

УДК 664.661.2:005.591.6
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.20

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО ЛЕМОНГРАССУ У РЕЦЕПТУРАХ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

Ткаченко А. С. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри товарознавства, біотехнології, експертизи та митної справи
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID ID: 0000–0001–5521–3327

Нетрадиційна сировина дозволяє покращити харчову та біологічну цінність борошняних кондитерських виробів. Особливої популярності набувають органічні продукти, що зумовлює пошук нових рецептур для їх створення. У статті досліджено лемонграсс, подрібнений і просіяний, Starwest Botanicals (США). Аналіз літературних джерел свідчить, що енергетична цінність лемонграссу становить – 99 ккал на 100 грам. Харчова цінність: білків – 1,82 г; жирів – 0,49 г (з них: насичені – 0,119 г; мононенасичені – 0,054 г; поліненасичені – 0,17 г); вуглеводів – 25,31 г. Вміст води – 70,58 г води, золи – 1,8 г. У статті вивчені органолептичні показники методом сенсорного аналізу, вітамінний та мінеральний склад розрахунковим методом. Мідь, цинк, свинець та кадмій визначали атомно-абсорбційним методом, миш'як – колориметричним методом, ртуть – методом безполуменевої атомної абсорбції. Встановлено, що додавання лемонграссу до рецептур борошняних кондитерських виробів може поліпшити їх органолептичні властивості, надавши пікантного присмаку та аромату. Лемонграсс має цитрусовий свіжий лимонно-імбирний аромат та лимонний смак. У лемонграссі міститься значна кількість фолієвої кислоти (вітаміну В9). Ступінь задоволення добової потреби у ній від споживання 100 г лемонграссу становить 37,5%. Також лемонграсс містить значну кількість вітаміну РР та здатен задовольнити 7,33% добової потреби у ньому. У лемонграссі міститься значна частина вітаміну С, проте через його термолабільність, використання лемонграссу для збагачення борошняних кондитерських виробів обмежується лише начинками. Лемонграсс у достатній кількості здатен задовольнити добову потребу у споживанні калію (28,93%), а також у магнії (12,00%). У досліджуваному зразку рівень свинцю у 5 разів нижчий за допустиму норму, кадмію – у двічі нижчий, так само меншим за гранично дозволені межі є вміст елементів миш'яку, ртуті та міді. Всі ці дані свідчать про перспективність застосування органічного лемонграссу у борошняних кондитерських виробах. Подальші дослідження планується присвятити створенню нових рецептур органічних борошняних виробів з додаванням лемонграссу.

Ключові слова: *органічна продукція, кондитерські борошняні вироби лемонграсс, нетрадиційна сировина.*

Tkachenko A. S. Prospects of using of organic lemongrass in recipes of flour confectionery

Unconventional raw materials can improve the nutritional and biological value of flour confectionery. Organic products are becoming especially popular, it leads to the search for new recipes for their creation. The article examines lemongrass, crushed and sifted, Starwest Botanicals (USA). Analysis of literature sources shows that the energy value of lemongrass is – 99 kcal per 100 grams. Nutritional value: protein – 1.82 g; fats – 0.49 g (of which: saturated – 0.119 g; monounsaturated – 0.054 g; polyunsaturated – 0.17 g); carbohydrates – 25.31 g. Water content – 70.58 g of water, ash – 1.8 g. The article studies the organoleptic characteristics by sensory analysis, vitamin and mineral composition by the calculation method. Copper, zinc, lead and cadmium were determined by the atomic absorption method, arsenic by the colorimetric method, and mercury by the flameless atomic absorption method. It is established that the addition of lemongrass to flour confectionery recipes can improve their organoleptic properties, giving a spicy taste and aroma. Lemongrass has a citrus fresh lemon-ginger aroma and lemon flavor. Lemongrass contains a significant amount of folic acid (vitamin B9). The degree of satisfaction of the daily need for it from the consumption of 100 g of lemongrass is 37.5%. Lemongrass also contains a significant amount of vitamin PP and is able to meet 7.33% of daily needs. Lemongrass contains a significant amount of vitamin C, but due to its thermolability, the use of lemongrass to enrich flour confectionery is limited to fillings. Lemongrass in sufficient quantities is able

to meet the daily requirement of potassium (28.93%), as well as magnesium (12.00%). In the test sample, the level of lead is 5 times lower than the permissible norm, cadmium is twice lower, and the content of arsenic, mercury and copper is also lower than the maximum allowable limits. All these data indicate the prospects for the use of organic lemongrass to flour confectionery. Further research is planned to create new recipes for organic flour products with the addition of lemongrass.

Key words: *organic products, lemongrass confectionery, non-traditional raw materials.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Органічна харчова продукція набуває все більшої популярності, зокрема у країнах Європейського Союзу, США та Канаді. Широкий сегмент у структурі органічної продовольчої продукції займають борошняні кондитерські вироби. Проте низький рівень вітамінів, незбалансований склад зумовлює до пошуків нової сировини для приготування борошняних виробів.

Аналіз літературних джерел. Лимонна трава – дуже корисна багаторічна рослина, відома також під назвами лемонграсс, цитронелла, лимонне сорго. Цитронелла досягає майже 1,8 метрів в сприятливому кліматі, в холодних зонах її довжина становить 1 метр. Довгі листя лемонгарассу досить вузькі по формі і гострі [1].

Лимонна трава має цитрусово-імбирний приємний аромат з ноткою мигдалевого присмаку. Досліджено, що ця рослина відмінно підходить для ароматизації напоїв, яким воно надає небувалі смак та аромат [2]. Лемонграсс містить ефірну олію, у складі якої близько 80% цитраля, 20–30% цитронеллола і гераніола, 15% гераніаля, 10% нераля, 5% цитронелаля, незначна кількість міоцену. Якість лимонної трави зазвичай визначається вмістом в ній цитралю [3].

Склад ефірних олій у лемонграсі представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Компоненти ефірних олій у листях лемонгассу,% [4]

Компонент	Свіже листя лемонграссу	Висушене на сонці листя лемонграссу
Мірцен	15,69	16,16
Лімонен	0,41	0,42
Е,Е-космін	0,20	0,23
α -терпінолен	1,02	1,09
Цитронелаль	0,60	2,06
Нераль	34,98	30,08
Гераніал	40,72	31,53

З таблиці 1 видно, що лемонграсс характеризується високим вмістом мірцену, нералю та гераніалу. Мірцен є важливим проміжним продуктом, що використовується у якості ароматизатора. Нераль має має антисептичні, антидепресивні і заспокійливі властивості [5].

Енергетична цінність лемонграссу становить – 99 ккал на 100 грам. Харчова цінність: білків – 1,82 г; жирів – 0,49 г (з них: насичені – 0,119 г; мононенасичені – 0,054 г; поліненасичені – 0,17 г); вуглеводів – 25,31 г. Вміст води – 70,58 г води, золи – 1,8 г [6]. (рис. 1.)

Існують клінічно-доведені дані про користь лемонграссу для м'язів і кісток: він підвищує витривалість організму. Також лемонграсс впливає на активацію обміну речовин і поліпшення кровотоку. Лемонграсс – це один з найефективніших натуральних антидепресантів. При прийомі в їжу він активізує апетит, підвищує настрій і покращує загальне самопочуття організму [7].

Рис. 1. Лемонграсс

Останні наукові дослідження надали докази, що підтверджують його антимікробні, антиоксидантні, протигрибкові та протизапальні властивості в кількох моделях захворювань. Наявні дослідження ефірних олій лемонграссу, які доводять, що вони пригнічують запальні прпоцеси на шкіри у мишей. Виявлено, що ефірні олії лемонграссу захищають від окисного стресу, спричиненого бензо-α-піреном, та пошкодження ДНК у клітинах фібробластів легень ембріону людини [8].

У дослідженні зазначено чай з лемонграссу містить у своєму відварі настої та екстрактах ефірних олій. Антиоксидантні, протизапальні, антибактеріальні, анксіолітичні та гіпотензивні властивості чаю з лимонника були доведені дослідженнями, задля підтвердження фармакологічної дії даної рослини. Чай з лимонника є нетоксичним, не мутагенним і отримав широке визнання серед практиків альтернативної медицини в кількох країнах, що розвиваються [9].

Зважаючи на вищевикладене, лемонграсс можна вважати перспективною нетрадиційною сировиною, яка містить корисні та лікувальні ефірні олії, характеризується високими органолептичними та клінічними властивостями.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є вивчення перспективи застосування органічного лемонграссу у якості нетрадиційної сировини для виробництва борошняних кондитерських виробів. Відповідно до поставленої мети, задачами дослідження є:

– вивчити органолептичні властивості лемонграссу;
– дослідити вітамінний склад лемонграссу;
– проаналізувати мінеральний склад лемонграссу;
– дослідити показники безпечності.

Матеріали та методи дослідження. У статті досліджено органолептичні показники органічного лемонграссу методом сенсорного аналізу. Ступінь задоволення добової потреби у вітамінах та мінеральних речовинах при споживанні

Рис. 2. Органічний лемонграсс, подрібнений і просіяний, Starwest Botanicals

лемонграссу виконано розрахункових методом [10]. Для дослідження вмісту токсичних елементів у виробах використовували загальноприйняті методики: мідь, цинк, свинець та кадмій визначали атомно-абсорбційним методом, миш'як – колориметричним методом, ртуть – методом безполуменевої атомної абсорбції [11].

Об'єктом дослідження є органічний лемонграсс, подрібнений і просіяний, Starwest Botanicals, 1 фунт (453,6 г), виробництво – Strawest Botanicals Inc., країна виробництва – США, країна походження – Єгипет (рис. 2).

Органолептичні показники лемонграссу наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Органолептичні показники лемонграссу

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Темно-зелена подрібнена трава без сторонніх домішок
Колір	Темно-зелений
Аромат	Цитрусовий свіжий лимонно-імбирний аромат, без сторонніх запахів
Смак	Лимонний без сторонніх присмаків

Аналіз даних табл.2, свідчить про те, що додавання лемонграссу до рецептур борошняних виробів може поліпшити їх органолептичні властивості, надавши пікантного присмаку та аромату.

Вітамінний склад лемонграссу представлено у таблиці 3.

Таблиця 3

Вітамінний склад лемонграссу , 100 г продукту

Назва вітаміну	Добова потреба, мг	Вміст у лемонграссі, мг	Ступінь задоволення добової потреби, %
Вітамін РР (ніациновий еквівалент)	15,00	1,10	7,33
Вітамін В9 (фолієва кислота)	200,00	75,00	37,50
Вітамін В6 (піридоксин)	1,70	0,08	4,71
Вітамін В2 (рибофлавін)	1,70	0,14	8,24
Вітамін В1 (тіамін)	1,50	0,07	4,67
Вітамін С (аскорбінова кислота)	70,00	2,60	3,71

Як видно з даних таблиці 3, у лемонграссі міститься значна кількість фолієвої кислоти (вітаміну В9). Ступінь задоволення добової потреби від споживання 100 г лемонграссу становить 37,5%. Також лемонграсс містить значну кількість вітаміну РР та здатен задовольнити 7,33% добової потреби у нутрієнті. Вітамін С міститься у досліджуваному продукті у кількості 2,6 мг, що дає змогу задовольнити 3,71% добової потреби. Проте, у зв'язку із тим, що вітамін С є термолабільним, введення лемонграссу до рецептур борошняних виробів не зможе вирішити проблему їх збагачення аскорбіновою кислотою. Єдиним шляхом збагачення борошняних кондитерських виробів за допомогою лемонграссу є уведення його до складу начинок, які не будуть піддаватися високій температурній обробці.

Мінеральний склад лемонграссу наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Аналіз мінерального складу лемонграссу

Назва мікроелементу	Добова потреба, мг	Вміст у 100 г лемонграссу, мг	Ступінь задоволення добової потреби, %
Калій (K)	2500,00	723,00	28,92
Кальцій (Ca)	800,00	65,00	8,12
Магній (Mg)	500,00	60,00	12,00
Натрій (Na)	1300,00	6,00	0,46
Фосфор (P)	1600,00	101,00	6,31

Дані таблиці 4 вказують на те, що лемонграсс у достатній кількості здатен задовольнити добову потребу у споживанні калію (28,93%), а також у магнії (12,00%). Магній – незамінний електроліт, який знаходиться в тісній взаємодії з такими хімічними елементами, як кальцій, калій, натрій, фосфор і з великою кількістю мікроелементів. Він підвищує витривалість, відповідаючи за швидке відновлення м'язів і зв'язок. Магній в організмі людини бере активну участь у обміні речовин, він задіяний в 300 біохімічних реакціях. Калій нормалізує рівень електролітів в крові і стимулює роботу нервової системи.

Дослідження токсикологічних показників органічного лемонграссу, наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Вміст токсичних елементів у лемонграссі

Назва токсичного елемента	Допустимий рівень, мг/кг, не більше ніж	Рівень у досліджуваному зразку, мг/кг
Свинець	0,50	0,10
Кадмій	0,10	0,05
Миш'як	0,30	0,10
Ртуть	0,02	0,001
Мідь	10,00	8,90

Як видно з таблиці 5, рівень свинцю у досліджуваному зразку у 5 разів нижчий за допустиму норму, кадмію – у двічі нижчий, так само меншим за гранично дозволені межі є вміст елементів миш'яку, ртуті та міді. Такі дані можуть свідчити про те, що органічне вирощування дійсно впливає на показники безпечності готового продукту.

Висновки. Додавання лемонграссу до рецептур борошняних виробів може поліпшити їх органолептичні властивості, надавши пікантного присмаку та аромату. У лемонграссі міститься значна кількість фолієвої кислоти (вітаміну B9). Ступінь задоволення добової потреби у ній від споживання 100 г лемонграссу становить 37,5%. Також лемонграсс містить значну кількість вітаміну PP та здатен задовольнити 7,33% добової потреби у ньому. Лемонграсс у достатній кількості здатен задовольнити добову потребу у споживанні калію (28,93%), а також у магнії (12,00%). У досліджуваному зразку рівень свинцю у 5 разів нижчий за допустиму норму, кадмію – у двічі нижчий, так само меншим за гранично дозволені межі є вміст елементів миш'яку, ртуті та міді. Всі ці дані свідчать про перспективність застосування органічного лемонграссу у борошняних кондитерських виробах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Інформаційно-пошуковий сайт. URL: https://asiafoods.com.ua/a379055vse-pro-lemongras.html (Дата звернення: 01.06.2022 р.)

2. Силка І. М., Кирпіченкова О. М., Матиящук О. В. Нові підходи до використання Алое Вера в безалкогольних напоях для реалізації в барі. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2020. №8. https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-8-6043

3. Арпуль, О. В., Усатюк О.М., Жукова Н.В. Використання рослинної сировини для збагачення свіжовичавлених соків біологічно активними речовинами. *Технологічний аудит і резерви виробництва.* 2015. № 3/3(23). С. 22-25.

4. Mohamed A.R, Hanaa. Y.I., Sallam A.S. El-Leithy [et al] Lemongrass (Cymbopogon citratus) essential oil as affected by drying methods. *Annals of Agricultural Sciences*. 2012. Volume 57. Issue 2. P. 113-116.

5. Okoh, O.O., Sadimenko, A.P., Afolayan, A.J. The effects of drying on the chemical components of essential oils of Calendula officinalis L. Afr. *J. Biotechnol*. 2008. № 7 (10). P. 1500–1502.

6. Halim J. M., Pokatong W. D. R., Ignacia J. Antioxidative characteristics of beverages made from a mixture of lemongrass extract and green tea . *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 2013. Vol. 24, № 2. P. 215–221. doi:10.6066/jtip.2013.24.2.215.

7. M.N. Boukhatem, M.A. Ferhat, A. Kameli, F. Saidi, H.T. Kebir. Lemon grass (Cymbopogon citratus) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drugs. *Libyan J. Med*. 2014. № 9. P. 25431.

8. Xuesheng Han Tory L. Parker. Lemongrass (Cymbopogon flexuosus) essential oil demonstrated anti-inflammatory effect in pre-inflamed human dermal fibroblasts Biochimie Open. Volume 4. 2017. P. 107–111

9 Olorunnisola, S. K.; Asiyanbi, -H. T.; Hammed, A. M.; Simsek, S. Biological properties of lemongrass: An overview. International Food Research Journal. 2014. Vol. 21 Issue 2. P. 455–462.

10. Карпенко П. О., Пересічна С. М , Грищенко І. М. , Мельничук Н. О. Основи раціонального і лікувального харчування: [за заг. ред. П. О. Карпенка]. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2011. 504 с.

11. Tkachenko, A., Syrokhman, I., Lozova, T., Ofilenko, N., Goryachova, E., Hmelnitska, Y., Shurduk, I. Development of formulations for sponge cakes made from organic raw materials using the principles of a food products safety management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 1/11 (97), P. 60–70.

REFERENCES:

1. Information search site. URL: https://asiafoods.com.ua/a379055vse-pro-lemongras.html (Date: 01.06.2022 p.).

2. Sylka I. M., Kyrpichenkova O. M., Matyyashchuk O. V. (2020) Novi pidkhody do vykorystannya Aloe Vera v bezalkohol′nykh napoyakh dlya realizatsiyi v bari. [New approaches to the use of Aloe Vera in soft drinks for sale in a bar]Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal «Internauka» – International scientific journal "Internauka", 8. https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-8-6043

3. Arpul′, O. V., Usatyuk O.M., Zhukova N.V.(2015). Vykorystannya roslynnoyi syrovyny dlya zbahachennya svizhovychavlenykh sokiv biolohichno aktyvnymy rechovynamy [Use of vegetable raw materials for enrichment of freshly squeezed juices with biologically active substances]. Tekhnolohichnyy audyt i rezervy vyrobnytstva – Technological audit and production reserves, 3/3(23), 22–25.

4. Mohamed A.R, Hanaa. Y.I., Sallam A.S. El-Leithy (2012). Lemongrass (Cymbopogon citratus) essential oil as affected by drying methods. *Annals of Agricultural Sciences*, 57, 2, 113–116.

5. Okoh, O.O., Sadimenko, A.P., Afolayan, A.J. (2008). The effects of drying on the chemical components of essential oils of Calendula officinalis L. Afr. *J. Biotechnol*. № 7 (10), 1500–1502.

6. Halim J. M., Pokatong W. D. R., Ignacia J. (2013). Antioxidative characteristics of beverages made from a mixture of lemongrass extract and green tea *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 24, 2, 215–221. doi:10.6066/jtip.2013.24.2.215.

7. M.N. Boukhatem, M.A. Ferhat, A. Kameli, F. Saidi, H.T. Kebir.(2014). Lemongrass (Cymbopogon citratus) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drugs. *Libyan J. Med*, 9, 25431.

8. Xuesheng Han Tory L .Parker. (2017). Lemongrass (Cymbopogon flexuosus) essential oil demonstrated anti-inflammatory effect in pre-inflamed human dermal fibroblasts Biochimie Open, 4, 107–111

9. Olorunnisola, S. K.; Asiyanbi, H. T.; Hammed, A. M.; Simsek, S. (2014). Biological properties of lemongrass: An overview. International Food Research Journal, 21 Issue 2, 455–462.

10. Karpenko P. O., Peresichna S. M , Hryshchenko I. M. , Mel′nychuk N. O. Osnovy ratsional′noho i likuval′noho kharchuvannya: [Fundamentals of rational and medical nutrition]. Kyyiv : Kyyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2011. 504 s

11. Tkachenko, A., Syrokhman, I., Lozova, T., Ofilenko, N., Goryachova, E., Hmelnitska, Y., Shurduk, I. (2019). Development of formulations for sponge cakes made from organic raw materials using the principles of a food products safety management system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/11 (97), 60–70.

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 626.81
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.21

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕННЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ МЕЛІОРАТИВНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Морозов О. В. *– доктор сільськогосподарських наук, професор,*
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5617-0813

Морозов В. В. *– кандидат сільськогосподарських наук, професор,*
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2594-883X

Морозова О. С. *– кандидат економічних наук, доцент,*
завідувачка кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу
й іноземних мов
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1425-4891

Реформування водогосподарського комплексу та діюча практика виробничих відносин між бюджетними експлуатаційними організаціями (управліннями водного господарства, управліннями магістральних каналів, басейновими управліннями водних ресурсів тощо), водогосподарськими організаціями та землеводокористувачами вказує на необхідність розробки Порядку інвентаризації меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури, а для цього необхідне відповідне теоретико-методологічне обгрунтування.

Інвентаризації повинні підлягати об'єкти меліоративної інфраструктури гідромеліоративних систем: насосні станції, міжгосподарська та внутрішньогосподарська відкрита і закрита меліоративна мережа та вся арматура на ній, гідротехнічні споруди, системи дренажу, зрошувані та прилеглі до них землі сільськогосподарського призначення.

Метою дослідження було теоретико-методологічне обгрунтування та практичне впровадження Порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем.

Дослідження проведені, в основному на прикладі каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи, яка розташована на слабодренованих та безстічних землях водороздільної рівнини р. Дніпро – р. Молочна, яка є типовою для зони зрошення України за ландшафтно-кліматичними, геоморфологічними, гідрогеолого-меліоративними, ґрунтовими, водогосподарськими та сільськогосподарськими умовами, а також умовами формування еколого-меліоративного режиму агроландшафтів і в першу чергу – ґрунтів.

Розроблений в результаті науково-технічних досліджень Порядок призначений для практичного використання при інвентаризації меліоративних систем та об'єктів інженерної інфраструктури цих систем, і рекомендується для управлінь магістральних каналів, басейнових та обласних управлінь водних ресурсів, управлінь водного господарства, міжрайонних управлінь водного господарства, регіональних управлінь водних ресурсів, що належать до сфери управління Державного агентства водних ресурсів України, організацій водокористувачів, які здійснюють експлуатацію меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури, що перебувають у державній та приватній власності.

Основою методології теоретико-методологічного обґрунтування та практичного впровадження порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем є системний аналіз і підхід.

Ключові слова: *зрошувальні системи, об'єкти меліоративної інфраструктури, інвентаризація, системний аналіз і підхід.*

Morozov O. V., Morozov V. V., Morozova O. S. Theoretical-methodological substantiation and practical implementation of the procedure for inventory of objects of meliorative infrastructure

Reform of the water management complex and the current practice of industrial relations between budgetary operating organizations (water management departments, main canal managements, basin managements of water resources, etc.), water management organizations and land users indicates the need to develop an Inventory of reclamation systems, infrastructure and individual facilities. this requires an appropriate theoretical and methodological justification.

The objects of reclamation infrastructure of hydro-ameliorative systems should be subject to inventory: pumping stations, inter-farm and inter-farm open and closed reclamation network and all fittings on it, hydraulic structures, drainage systems, irrigated and adjacent agricultural lands.

The purpose of the study was the theoretical and methodological substantiation and practical implementation of the Procedure for conducting an inventory of reclamation infrastructure of irrigation systems.

The research was carried out mainly on the example of the R-1 channel of the Kakhovka irrigation system, which is located on poorly drained and drainless lands of the watershed plain of the Dnieper River – Molochna River, which is typical for the irrigation zone of Ukraine in terms of landscape, climate, geomorphology, hydrogeology soil, water and agricultural conditions, as well as the conditions of formation of ecological – reclamation regime of agrolandscapes and first of all – soils.

The Procedure developed as a result of scientific and technical researches is intended for practical use at inventory of reclamation systems and objects of engineering infrastructure of these systems, and is recommended for managements of main channels, basin and regional managements of water resources, managements of water management, interdistrict managements of water management, regional managements. water resources belonging to the sphere of management of the State Agency of Water Resources of Ukraine, water user organizations operating ameliorative systems and individual objects of engineering infrastructure, which are in state and private ownership.

The basis of the methodology of theoretical and methodological substantiation and practical implementation of the procedure for conducting an inventory of reclamation infrastructure of irrigation systems is a systematic analysis and approach.

Key words: *irrigation systems, reclamation infrastructure facilities, inventory, systems analysis and approach.*

Вступ. Реформування водогосподарського комплексу та діюча практика виробничих відносин між бюджетними експлуатаційними організаціями (управліннями водного господарства, управліннями магістральних каналів, басейновими управліннями водних ресурсів тощо), водогосподарськими організаціями та землеводокористувачами вказує на необхідність розробки Порядку інвентаризації меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури (далі Порядок), а для цього необхідне відповідне теоретико-методологічне обґрунтування.

Постановка проблеми. Інвентаризації повинні підлягати об'єкти меліоративної інфраструктури гідромеліоративних систем: насосні станції (НС), міжгосподарська та внутрішньогосподарська відкрита і закрита меліоративна мережа та вся арматура на ній, гідротехнічні споруди, системи дренажу, зрошувані та прилеглі до них землі сільськогосподарського призначення.

Порядок інвентаризації повинен бути побудований таким чином, що дозволяє врахування технічних особливостей різних гідромеліоративних системи України, взаємовідносин водопостачальників та водоспоживачів різних форм господарювання.

Теоретико-методологічне обґрунтування та практичне впровадження Порядку інвентаризації спрямовано на підвищення рівня захисту інтересів водокористувачів, захист навколишнього середовища, заощадження ресурсів води і електроенергії, додержання вимог, пов'язаних з використанням водних та земельних ресурсів.

Проведення інвентаризації меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури може бути здійснено:

- на загальнодержавних гідромеліоративних системах – організацій, що належать до сфери управління спеціально уповноваженого органу виконавчої влади з питань водного господарства та меліорації земель і займаються експлуатацією цих систем;

- на міжгосподарських гідромеліоративних системах, які перебувають у державній власності – обласні організації, що належать до сфери управління спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань водного господарства та меліорації земель, за поданням управлінь експлуатації меліоративних систем;

- на міжгосподарських гідромеліоративних системах, які перебувають у комунальній власності, а також внутрішньогосподарських системах, де власниками цих систем або спеціально утворених ними підприємств, установ і організацій з обов'язковим погодженням з обласними установами, які належать до сфери управління спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань водного господарства та меліорації земель.

Метою дослідження є теоретико-методологічне обґрунтування та практичне впровадження Порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем.

Дослідження проведені, в основному на прикладі каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи, яка розташована на слабодренованих та безстічних землях водороздільної рівнини р. Дніпро – р. Молочна, яка є типовою для зони зрошення України за ландшафтно-кліматичними, геоморфологічними, гідрогеолого-меліоративними, ґрунтовими, водогосподарськими та сільськогосподарськими умовами, а також умовами формування еколого – меліоративного режиму агроландшафтів і в першу чергу – ґрунтів.

Об'єкт досліджень – меліоративна інфраструктура каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи.

Матеріали, методологія та методи досліджень. Вихідними матеріалами і даними для проведення інвентаризації меліоративних систем та об'єктів меліоративної інфраструктури є:

- відомості з Державного земельного кадастру (державні акти на право власності на землю та на право постійного користування землею, договорів оренди землі) (приклад надання інформації наведено в табл. 1);

- відомості з Державного водного кадастру (приклад надання інформації наведено в табл. 2);

- матеріали міжрайонних управлінь водного господарства, басейнових управлінь водних ресурсів Держводагентства (планово-картографічні матеріали; копії документів, що посвідчують право власності на земельні ділянки або підтверджують сплату земельного податку; технічна документація, що затверджена в установленому законодавством порядку; матеріали які підготовлені за результатами обстеження зрошувальної і дренажної мережі щодо їх технічного стану) (приклад надання інформації наведено табл. 3).

В дослідженнях використані матеріали Басейнового управління водних ресурсів (БУВР) Нижнього Дніпра (І.О. Анрієнко), Інституту водних проблем і меліорацій НААН України (М.І. Ромащенко, А.М. Шевченко та ін.) [7], ННЦ «Інститут грунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» НААН України (С.А. Балюк, В.А. Величко, М.І. Полупан, В.Б. Соловей та ін.) [9], ДУ ХФ «Інститут охорони фрунтів України» (М.А. Мельник, В.М. Шевченко та ін.), матеріали проектних інститутів, таких як Укрводпроекти та його філії: Херсонської, Одеської, Миколаївській, Дніпропетровській, літературні та інші дані.

Матеріали та методи досліджень. Методологічною основою досліджень є системний аналіз і системний підхід [8]. В даних дослідженнях системний аналіз є сукупністю методологічних засобів, які використовуються для підготовки та обґрунтування рішень щодо формування бази даних для порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем. Системний підхід в роботі розглядається як напрям методології, в основу якого покладено комплексні дослідження об'єкту (меліоративна інфраструктура) як складної динамічної системи. При цьому системний підхід сприяє більш строгому, логічному обґрунтуванню постановки задач, стратегії їх вирішення, орієнтує дослідження на розкриття цілісності вивчаємих об'єктів, на виявлення складних взаємозалежносте й і можливих наслідків функціонування меліоративної інфраструктури зрошувальних систем та управлінських рішень (В.В. Морозов, 2008) [8, стор. 9].

Системний аналіз при вивченні об'єктів інфраструктури зрошувальних систем є науковим методом тільки тоді, коли на всіх етапах роботи він спирається на конкретний кількісний аналіз параметрів вивчаємих об'єктів, використовуючи в т.ч. адекватні моделі та ПЕОМ. Гідромеліоративні системи є складними об'єктами і включають в себе елементи, параметри і фактори, які піддаються строгій кількісні оцінці [8]. Наприклад, це параметри зрошувальних каналів, дренажних ділянок, насосних станцій, мостів, трубопроводів, показники еколого – меліоративного режиму зрошуваних земель, зрошувальні і поливні норми, дренажний стік, вологість ґрунту, його загальна і токсична засоленість, рівень ґрунтових вод, мінералізація і гідрохімічний склад ґрунтових та дренажних вод, іригаційні показники якості зрошувальної води тощо.

Основними методами досліджень є польові і лабораторні дослідження, аналіз та синтез, історичний метод, метод моніторингу стану ґрунтів та водних ресурсів, еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, геоінформаційних систем і технологій (ГІС – технологій), для оперативного збору інформації використані методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-методологічне обґрунтування та практичне впровадження Порядку інвентаризації меліоративної інфраструктури повинно відповідати Водному кодексу [1], Земельного кодексу [2], Закону України (ЗУ) «Про меліорацію земель» [3], Закону України «Про землеустрій» [4], Закону України «Про державний земельний кадастр» [5],

Таблиця 1

Інформація із Державного земельного кадастру

Відомості про земельну ділянку	
Кадастровий номер земельної ділянки	*6523583101:17:032:0084*
Цільове призначення	*01.03 Для ведення особистого селянського господарства*
Категорія земель	*землі сільськогосподарського призначення*
Вид використання	*для ведення особистого селянського господарства*
Форма власності	*приватна*
Площа земельної ділянки, га	*1,2504*
Місце розташування	*Херсонська область, Каховський район, Любимівська сільська рада, 165*
Відомості про нормативну грошову оцінку ділянки	
Оцінка ділянки, гривень	*34825,25*
Дата оцінки ділянки	*11.08.2019*
Інформація про документацію із землеустрою на земельну ділянку	
Документація із землеустрою	*Проєкт землеустрою щодо відведення земельних ділянок*
Дата документації із землеустрою	*11.06.201906*
Відомості про сертифікованого інженера-землевпорядника (відповідальна особа)	
ПІП інженера – землевпорядника	*Інформація відсутня*
Номер сертифіката та дата видачі	*Інформація відсутня*
Місце роботи інженера-землевпорядника	*ДП «Херсонський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою»*
Відомості про сертифікованого інженера -землевпорядника (безпосередній виконавець)	
ПІП інженера – землевпорядника	*Перуна О.Ю.*
Номер сертифіката та дата видачі	*Інформація відсутня*
Місце роботи інженера-землевпорядника	*ДП «Херсонський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою»*
Відомості про суб'єктів права власності на земельну ділянку **** інформація про власника (землекористувачів) є довідковою, актуальна інформація міститься у Державному реєстрі речових прав на нерухоме майно***	
Прізвище, ім'я та по батькові фізичної особи	*Мальніченко К.В.*
Дата державної реєстрації права (в державному реєстрі прав)	*23.08.2019*
Номер запису про право (в державному реєстрі прав)	*34401287*
Орган, що здійснив державну реєстрацію права (в державному реєстрі)	*Каховська міська Рада, виконавчий комітет*
Відомості про суб'єкта речового права на земельну ділянку	
Вид речового права	*Право оренди земельної ділянки*

Продовження таблиці 1

Найменування юридичної особи	*Товариство з обмеженою відповідальністю «Агро Юг»*
Код ЄДРПОУ юридичної особи	*33819784*
Дата державної реєстрації права (в державному реєстрі прав)	*23.09.2019*
Номер запису про право (в державному реєстрі прав)	*33400394*
Орган, що здійснив державну реєстрацію права (в державному реєстрі)	*Каховська міська Рада, виконавчий комітет*

Таблиця 2

Інформація про об'єкти меліоративної інфраструктури із Державного водного кадастру

Насосні станції	
Назва (номер) насосної станції	*«Батумська»*
Назва зрошувальної системи	*Батумська зрошувальна система*
Тип насосної станції (ГНС, підкачуюча, перекачуюча)	*Головна насосна станція*
Проектна площа обслуговування, га	*224 га*
Район розташування	*Херсонський район, Херсонська область*
Загальна виробнича продуктивність, м^3/с	*2,520 м^3/с*
Потужність електричного обладнання, кВт	*1031,25 кВт*
Назва каналу на якому розташована НС або природного водного об'єкту	*річка Кошова*
Діюча або не діюча	*діюча*
Канали	
Назва зрошувального каналу	*К-1*
Назвазрошувальної системи	*Батумська зрошувальна система*
Район розташування	*Херсонський район, Херсонська область*
Пропускна спроможність в голові каналу, м^3/с	*2,500 м^3/с*
Проектна площа обслуговування, га	*224 га*
Охоронна зона по обидві сторони каналу, м	*2 м*
Діючий або не діючий	*діючий*
Гідротехнічні споруди (ГТС)	
Назва (номер) ГТС (регулююча, затвор, шандор, шлюз, дюкер, інше)	*перегороджуючаспоруда, ГТС-водопідпірна*
Назва зрошувальної системи	*Каховськазрошувальна система*
Район розташування	*Генічеський район, Херсонська область*
Назва каналу на якомурозташована ГТС або природного водного об'єкту	*канал Р-5-1*
Діюча або не діюча	*діюча*
Дренажні насосні станці (у населених пунктах)	
Назва (номер) насосної станції	*№ 1 с. Бабенківка Друга*

Продовження таблиці 2

Назва осушувальної системи	-
Тип насосної станції (дренажна, польдерна, свердловина вертикального дренажу)	*Дренажнанасосностанція*
Проектна площа обслуговування, га	*32 га*
Район розташування	*Скадовський район, Херсонськаобл.*
Загальна виробнича продуктивність, м^3/с	*0,058 м^3/с*
Потужність електричного обладнання, кВт	*45 кВт*
Назва каналу на якому розташована НС або природного водного об'єкту	-
Діюча або не діюча	Діюча

Таблиця 3

Рекомендований перелік нормативної і проектно-технічної документації для інвентаризації каналів, будівель насосних станцій та гідротехнічних систем

Проектна документація:	– робочі креслення і пояснювальна записка до них з даними по проєктних навантаженнях і впливах;
	– документи узгодження з проєктною організацією у випадку наявності відхилення від проєкту.
Експлуатаційна документація:	– технічні паспорти на обстежувані об'єкти (будівлі НС або ГТС);
	– відомості про впливи навантаження при експлуатації конструкцій;
	– зміни навантажень у процесі експлуатації із вказівкою дати зміни навантажень, значення і місця додаткових постійних і тимчасових навантажень, а також їх можливі експлуатаційні сполучення;
	– терміни служби будівлі НС або ГТС і дані про ушкодження конструкцій, причини, що викликали їх в процесі експлуатації;
	– відомості про ремонти, реконструкції і посилення, що виконувалися;
	– технічні журнали по експлуатації будівлі насосної станції або ГТС;
	– акти результатів періодичних і позачергових оглядів технічних конструкцій;
	– акти технічних оглядів будівлінасосної станції або ГТС;
	– результати геодезичних спостережень за станом конструкцій в процесі експлуатації;
	– переписка (листування) і протоколи різних комісій з питань технічного стану конструкцій;
	– звіти і висновки спеціалізованих організацій про раніше виконані обстеження;
	– документи, що характеризують фізичні параметри середовища у середині будівлі: вміст і концентрацію газів у складі повітря, вологість, температуру, тепловиділення.

Постанови Кабінету Міністрів України (КМУ) від 5 червня 2019 р. № 476 «Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель», Постанови Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688 «Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [6], Постанови Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1051 «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру» [8], Постанови Кабінету Міністрів України від 8 квітня 1996 р. № 413 «Про затвердження Порядку ведення державного водного кадастру» [8].

Питання формування бази даних і бази знань, які можливо використовувати в процесі проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем, розкрито в роботах вчених ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» НААН [9; 10], Інституту водних проблем і меліорацій НААН [7], Інституту зрошуваного землеробства НААН та Херсонського державного аграно – економічного університету [11; 12]. Але данні питання потребують подальшого розвитку, узагальнення та дослідно-виробничій перевірки для ефективного впровадження одержаних розробок.

Виклад основного матеріалу досліджень. Система інформаційного інвентаризації зрошувальних систем та об'єктів меліоративної інфраструктури повинна ґрунтуватись на науково – методологічних та методичних засадах еколого-меліоративного моніторингу зрошуваних земель, водогосподарського моніторингу зрошувальних систем та моніторингу ґрунтів як основних джерел одержання базової, оперативної та довгострокової інформації для систем підтримки управлінських рішень. Функціонально – організаційна структура інвентаризації меліоративної інфраструктури представлена на рис. 1.

Рис. 1. Структура інформаційного забезпечення інвентаризації зрошувальних систем та об'єктів меліоративної інфраструктури

Таблиця 4

Рекомендований склад інформації для проведення інвентаризації зрошувальних систем та об'єктів меліоративної інфраструктури

Модулі	Інформаційні блоки та групи файлів
1. Територіально-адміністративна прив'язка об'єктів, відображення геоданих об'єктів меліоративної мережі (насосних станцій, гідротехнічних споруд, каналів, трубопроводів та ін.)	Фіксація географічних координат об'єкта та фотографування об'єкта. Адміністративна, господарська та водогосподарська. Топографічна та висотно-координатна. До космо- або аерофотознімків. 1.1. Назва, умовний код (номер) меліоративної мережі; 1.2. Місце розташування меліоративної мережі; 1.3. Контури меліоративної мережі; 1.4. Координати точки (точок) водовиділу; 1.5. Умовні коди (номери) складових частин меліоративної мережі; 1.6. Координати та міри ліній поворотних точок вісей лінійних споруд та меж земельних ділянок під будівлями, що є складовими частинами меліоративної мережі; 1.7. Інформація про земельні ділянки та масиви земель сільськогосподарського призначення, що входять до території обслуговування меліоративної мережі; 1.8. Інформація про документи, на підставі яких встановлено відомості про меліоративну мережу. 1.9. Створення геоданих для об'єктів меліоративної мережі (насосні станції, гідротехнічні споруди, канали, трубопроводи, системи горизонтального та вертикального дренажу тощо) з технічними характеристиками та прив'язкою фотографічних зображень
2. Розширений опис об'єкта, місце розташування, його природні та технічні характеристики на момент обстеження	2.1. Агрокліматичні показники – перелік параметрів, ретроспективні ряди даних, статистичні характеристики і моделі мінливості у багаторічному розрізі тощо. 2.1. Геоморфологічні умови (місце знаходження об'єкта щодо геоморфологічної будови території), характеристика рельєфу та мікрорельєфу, умов поверхневого стоку, топоповерхні землі тощо. 2.3. Ґрунти – типи, підтипи, види тощо; комплексність ґрунтового покриву; гранулометричний склад, фізичні, фізико – хімічні, агрохімічні та біологічні властивості ґрунтових виділів (перелік оцінюваних показників, статистичні характеристики, ретроспективні ряди даних тощо); характеристики природної та сформованої родючості і продуктивності ґрунтів, їх екологічного стану тощо (матеріали ґрунтових обстежень і стаціонарних досліджень). 2.4. Ґрунтові води – глибини залягання, мінералізація та хімічний склад, зони живлення та розвантаження, характеристика режиму – ретроспективні ряди даних, статистичні та регресійні моделі (матеріали еколого – меліоративного моніторингу моніторингу). 2.5. Параметри режимів волого – та масопереносу, моделі динаміки вологості в ґрунтах при вирощуванні рослин (матеріали стаціонарних досліджень). 2.6. Прояви геоекологічних і ґрунтотворних процесів – вторинне засолення і осолонцювання, підтоплення, заболочування, гідроморфізація автоморфних або мінералізації та переосушення органогених ґрунтів, ерозії, оглеєння тощо (матеріали моніторингу, ґрунтових обстежень, спеціальних стаціонарних досліджень); характеристики параметрів та моделі формування еколого-меліоративного режиму зрошуваних земель (при наявності).

Продовження табл. 4

3. Опис стану використання зрошувальних систем	3.1. Характеристики гідромеліоративних систем, з прив'язкою до використання зрошуваних угідь (проєктні площі, використання землі під сільськогосподарськими культурами, застосування поливу, фактичне володіння земельними ділянками (оренда, власність тощо). 3.2. Складання схем розбивки зрошувальної території на ділянки з посиланнями на конкретного водокористувача. 3.3. Опис ситуації щодо подальшого використання зрошуваної території (використання без змін, розширення, списання зрошувальної мережі). 3.2. Характеристика способів подачі та відведення води, техніки поливів тощо. 3.3. Параметри режимів зрошення, норми водоподачі та водовідведення, якість поливних і дренажних вод – ретроспективні ряди даних, статистичні характеристики.
4. Уточнення наявності земель водного фонду, смуг відведення в межах зрошувальних систем, що перебувають у державній власності (міжгосподарські зрошувальні меліоративні системи)	4.1. Опис ситуації щодо користування землями під гідротехнічними об'єктами (наявність оформлених актів, стан сплати податків). 4.2. Моделі родючості ґрунтів. 4.3. Результати оцінки еколого – меліоративного стану земель і ресурсної забезпеченості об'єкта для вибору та адаптації параметрів заходів до умов просторової мінливості території (агроландшафтів).
5. Наявність меліоративних або природоохоронних заходів з поліпшення стану земель, види заходів, їхні параметри та площі реалізації, оцінка якості, ефективності та надійності роботи меліоративної інфраструктури	5.1. Сівозміни. 5.2. Природоохоронні заходи та технологічні операції, у т.ч. поливи, удобрення, внесення засобів захисту рослин. 5.3. Урожайність сільськогосподарських культур (ретроспективні ряди даних вимірів). 5.4. Відомості про наявність та місцезнаходження джерел забруднення, розміщення мережі моніторингових спостережень тощо. 5.5. Наявність меліоративних або природоохоронних заходів з поліпшення стану земель (фрунтів, агроландшафту), види заходів, їхні параметри та площі реалізації, оцінка якості та стабільності роботи.

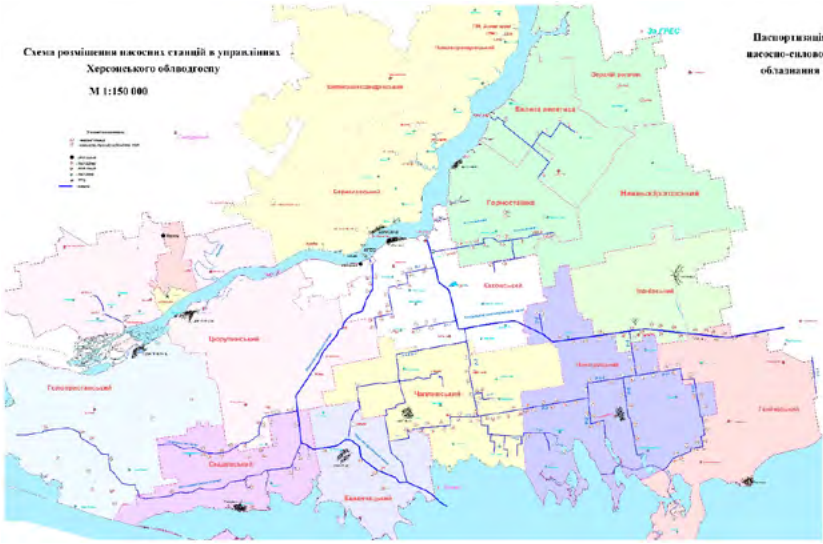


Рис. 2. Схема розміщення насосних станцій Басейнового управління водних ресурсів Нижнього Дніпра (М 1:150 000)

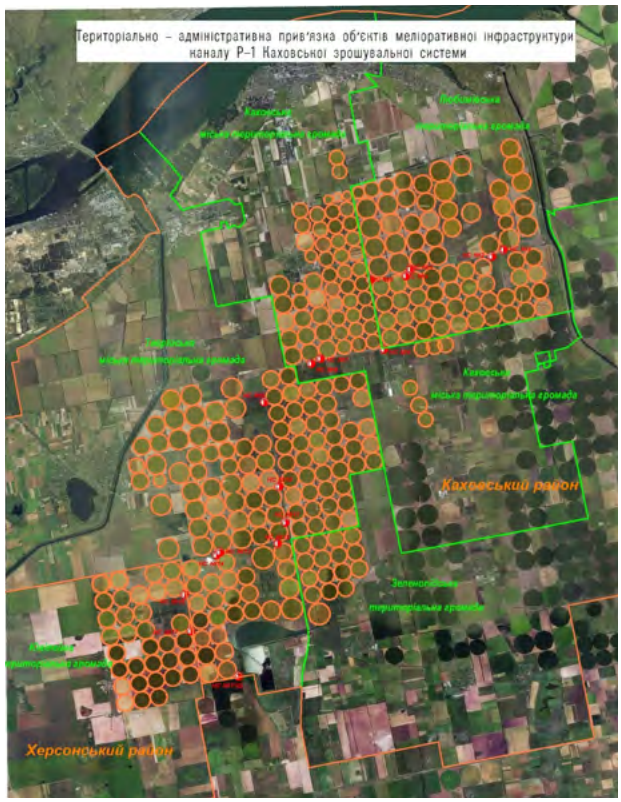


Рис. 3. Територіально-адміністративна прив'язка об'єктів меліоративної інфраструктури каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи

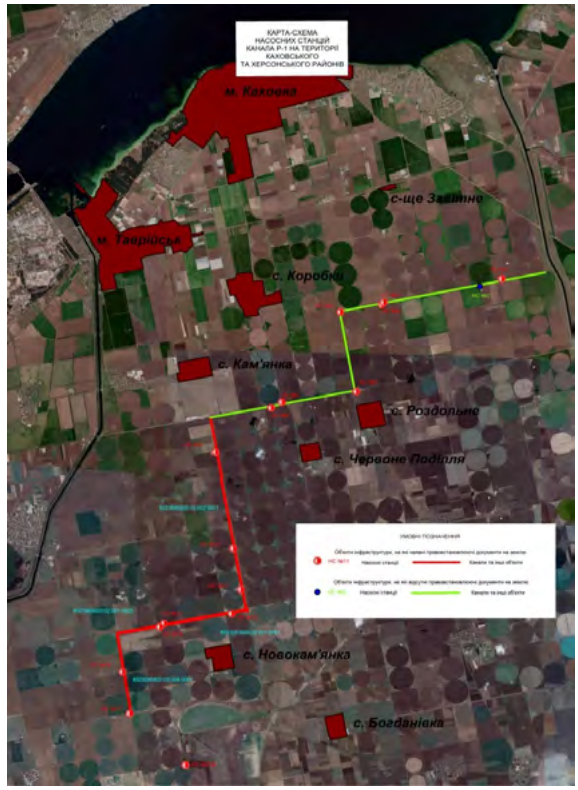


Рис. 4. Карта-схема насосних станцій каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи (Каховський та Херсонський район Херсонської області)

Таблиця 5

Координати гідроспоруд каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи

Власна назва насосної станції	Географічні координати насосної станції		Географічні координати водовиділу	
	Широта	Довгота	Широта	Довгота
НС №1	46°44’20»	33°36’53»	46°44’19»	33°36’54»
НС №2	46°44’12»	33°36’16»	46°44’14»	33°36’15»
НС №3	46°43’53»	33°33’17»	46°43’52»	33°33’18»
НС №4	46°43’50»	33°33’14»	46°43’51»	33°33’13»
НС №5	46°43’41»	33°31’57»	46°43’40»	33°31’58»
НС №6	46°41’57»	33°32’25»	46°41’57»	33°32’19»
НС №7	46°41’44»	33°30’07»	46°41’41»	33°30’07»
НС №8	46°41’37»	33°29’47»	46°41’39»	33°29’47»
НС №9	46°40’40»	33°28’03»	46°40’41»	33°28’06»
НС №10	46°38’34»	33°28’34»	46°38’35»	33°28’35»
НС №11	46°37’41»	33°28’47»	46°37’41»	33°28’49»
НС №12	46°37’09»	33°28’29»	46°37’11»	33°28’29»
НС №13	46°36’58»	33°26’24»	46°36’56»	33°26’24»
НС №14	46°36’53»	33°26’16»	46°36’54»	33°26’15»

Слід відмітити, що в даній структурі важливим елементом може стати постійно діюча підсистема моніторингу ефективності функціонування зрошувальних і дренажних систем, основним науково – методологічних інструментарієм якої є створення відповідних експлуатаційних систем, які включають бази даних і бази знань [9]. Ця процедура переходом до створення і застосування системи штучного інтелекту в процесі прийняття та реалізації управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності гідромеліоративної інфраструктури та охорону ґрунтів і водних ресурсів.

Рекомендований склад інформації для проведення інвентаризації зрошувальних систем та об'єктів меліоративної інфраструктури представлено в табл. 4.

Результати практичного впровадження інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи представлені на рис. 2, 3, 4, 5 та табл. 5, 6, 7.

Рис. 5. Схема зрошувальної мережі каналу Р-1 Каховського магістрального каналу

Таблиця 6

Технічна характеристика каналу Р-1 Каховського магістрального каналу

Пікети	Витрати, м³/га	Ширина по дну, м	Глибина каналу, м	Коефіцієнт нахилу	Швидкість, м/с
0-00-7+00	13,6	3,9	2,05	1,5	0,92
7+00-27+39	13,6	3,9	2,33	1,5	0,77
27-39-55+00	12,0	3,9	2,17	1,5	0,76
55-00-84+74	10,7	3,9	2,05	1,5	0,74
84+74-116+27	9,2	2,65	2,08	1,5	0,75
116+27-146+00	8,3	2,65	2,08	1,5	0,68
146+00-150+10	7,7	2,65	1,96	1,5	0,72
150+10-188+30	6,5	2,65	1,8	1,5	0,66
188+30-227+45	5,3	2,15	1,62	1,5	0,73
227+45-234+00	4,9	2,15	1,62	1,5	0,68
234+00-246+90	4,9	2,15	1,54	1,5	0,72
246+90-259+20	3,7	2,15	1,54	1,5	0,54
259+20-286+80	3,3	2,15	1,54	1,5	0,48
286+80-287+60	2.6	2,15	1,54	1,5	0,38
287+60-304+00	2,0	1,65	1,27	1,5	0,45
304+00-319+70	1,5	1,65	1,27	1,5	0,34
319+70-336+75	0,8	1,68	0,68	1,5	0,44

Таблиця 7

Технічна характеристика гідротехнічних споруд каналу Р-1 Каховського магістрального каналу

Об'єкт	Пікетне положення	Тип споруди	Висота (довжина), м	Ширина (діаметр), м	Кількість елементів, од.	Загальна вага, т	Матеріал
ПС-1	84+74	щит плоский з трубопереїздом	-	-	-	-	метал
ПС-2	116+27	АРР-280/250 з трубопереїздом	затвор 2,8 м	Затвор 2,5 м	2	4,34	метал
ПС-3	146+00	щит плоский з трубопереїздом	3,6	(1,25)*2	2	2,34	метал
ПС-4	188+30	щит плоский з трубопереїздом	2,16	2,6	1	0,96	метал
ПС-5	234+00	щит плоский з трубопереїздом	3,9	(1,25)*2	2	4,38	метал
ПС-6	287+60	щит плоский з трубопереїздом	3,5	(0,8)	1	0,73	метал
ПС-7	319+70	щит плоский з трубопереїздом	1,5	(0,8)	1	0,55	метал
міст	52+44	збірний однопрольотний	0,9(17,5)	8	-	-	залізобетон
міст	252+13	збірний однопрольотний	0,8(18)	7	-	-	залізобетон
міст	303+50	збірний однопрольотний	0,8(18)	7	-	-	залізобетон

Висновки і пропозиції.

1. Розроблений в результаті науково – технічних досліджень Порядок призначений для практичного використання при інвентаризації меліоративних систем та об'єктів інженерної інфраструктури цих систем, і рекомендується для управлінь магістральних каналів, басейнових та обласних управлінь водних ресурсів, управлінь водного господарства, міжрайонних управлінь водного господарства, регіональних управлінь водних ресурсів, що належать до сфери управління Державного агентства водних ресурсів України, організацій водокористувачів (ОВК), які здійснюють експлуатацію меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури, що перебувають у державній та приватній власності.

2. Основою методології теоретико-методологічного обґрунтування та практичного впровадження порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем є системний аналіз і підхід.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Водний кодекс України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР).* № 24, 1995.

2. Земельний кодекс України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР).* № 3-4, 2002.

3. Закон України «Про меліорацію земель». *Відомості Верховної Ради України (ВВР).* № 11. 2000.

4. Закону України «Про землеустрій». *Відомості Верховної Ради України (ВВР).* № 36. 2003.

5. Закону України «Про державний земельний кадастр». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. № 8. 2012.

6. Постанови Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688 «Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року».

7. Інформаційно-обчислювальне забезпечення моніторингу меліорованих земель. Частина 1. Методика організації системи інформаційного забезпечення моніторингових робіт на зрошуваних землях. Посібник 3 до ВБН 33-5.3-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу», частина 1 – Зрошувані землі. К., 2002.

8. Морозов В.В. Основи системного аналізу в гідромеліорації. Навч. посібник. Херсон : Вид-во ХДУ, 2008. 64 с.

9. Демехін В.А., Пелих В.Г., Полупан Н.М. и др. Земельные ресурсі Херсонской области – базовій фактор региональной экономической политики / Под ред к.т.н. В.А. Демехина. К. : Аграрна наука, 2007. 152 с.

10. Адаптація агротехнологій до змін клімату: грунтово – агрохімічні аспекти: колективна монографія / за наук. ред. С.А. Балюка, В.В. Медведєва, Б.С. Носка. Харків : Стильна типографія, 2018. 364 с.

11. Морозов О.В., Морозов В.В., Козленко Є.В. Системний підхід у дослідженнях технічної ефективності закритого горизонтального дренажу. *Таврійський науковий вісник. Серія: технічні науки* / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 2. С. 60-69. URL: http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7117.

12. Морозов О.В., Морозов В.В., Козленко Є.В. Теоретико-методологічні та технологічні аспекти розробки експертних систем моніторингу ефективності горизонтального дренажу зрошувальних систем. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки.* Херсон, 2021. Вип. 122 С. 65-69.

REFERENCES:

1. Vodniy kodeks Ukrainy. Vidomosti Vergovnoy Rady. № 24, 1995 [in Ukrainian].
2. Zemelniy kodeks Ukrainy. Vidomosti Vergovnoy Rady. № 3-4, 2002 [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy „Pro meliorathiu zemel". Vidomosti Vergovnoy Rady. № 11, 2000 [in Ukrainian].
4. Zakon Ukrainy „Pro zemleystriy". Vidomosti Vergovnoy Rady. № 36, 2003 [in Ukrainian].
5. Zakon Ukrainy „Pro dergavniy zemelniy kadastr". Vidomosti Vergovnoy Rady. № 8, 2012 [in Ukrainian].
6. Postanova Kabinety Ministriv Ukrainy „Pro sgvalenia Strategiy zroshenia ta drenage v Ukrainy na period do 2030 roky. № 688, 2019 [in Ukrainian].
7. Informaziyno – obhislyvane zabezpethenya monitiringy melioratignix zemel (2002) [Irrigation systems, reclamation infrastructure facilities, inventory, systems analysis and approach]. K. (in Ukrainian).
8. Morozov V. V. (2008) Osnovi sistemnogo analizy: navthalniy posibnik [Fundamentals of system analysis in land reclamation]. Kherson: Vid-vo XDY. (in Ukrainian).
9. Demexin V.A., Pelyx V.G., Polypan N.M. (2007) Zemelnye resyrsy Xersonskoy oblasty – bazoviy faktor regionalnoy ekonomithoy politiky [Land resources of the Kherson region are a basic factor of regional economic policy]. K.: Agrarna nayka. (in Ukrainian).
10. Baliuk S.A., Medvediev V.V., Nosko B.S. (2018) Adaptatsiia ahrotekhnolohii do zmin klimatu: gruntovo-ahrokhimichni aspekty: kolektyvna monohrafiia [Adapting agrotechnologies to climate change: soil-agrochemical aspects: collective monograph]. Kharkiv: Stylna typohrafiia. (in Ukrainian)
11. Sistemniy pidxid y doslidgeniax efektivnosti zakritogo gorizintalnogo drenagy // O. V. Morozov, V. V. Morozov, Ye. V. Kozlenko // Tavriiskyi naukovyi visnyk: texnithi nayki. – Kherson: Vidavnithiy dim «Gelvetica», 2021.- Vyp. 2.- S. 60-69 [in Ukrainian].
12. Teoretiko – metodologihni ta tehnologihni aspecty rozrobky ekspertnyx sistem monitoringy efektivnosti gorizontalnogo drenagy zroshyvalnyx sistem / O. V. Morozov, V. V. Morozov, Ye. V. Kozlenko. Tavriiskyi naukovyi visnyk: silskogospodarski nayki. Kherson: Vidavnithiy dim «Gelvetica», 2021. Vyp. 122. S. 65-69 [in Ukrainian].

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624.01
DOI https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.22

МЕТОД ОДНОЧАСНОГО ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ І ПРЕСУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Чеканович М. Г. *– кандидат технічних наук,*
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109
Scopus-Author ID: 57192938389&

Розглянуті і проаналізовані відомі у широкій будівельній практиці технології попереднього напруження залізобетонних конструкцій. Технологічні методи виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій прийнято поділяти за способом і часом натягу арматури, за способами її укладки і напруження та за кріплення у бетоні напруженої арматури. За способом і часом натягу арматури всі попередньо напружені конструкції об'єднані у дві групи: елементи з натягом арматури на упори до бетонування та елементи з натягом арматури після бетонування на затверділий бетон. Такі способи попереднього напруження, як правило, не ущільнюють бетонну суміш і тому залишаються не використаними резерви міцності, водонепроникності і морозостійкості матеріалів.

В представленій роботі розроблений оригінальний практичний спосіб попереднього напруження арматури залізобетонних виробів, що включає добре відомі операції: укладку арматури у форму, натяг арматури, наступну фіксацію арматури. Відрізняє запропонований спосіб те, що для підвищення ступеня попереднього напруження конструкції та її міцності кінці арматури закріплюють анкерами на рухомих торцях форми, а натяг її виконують шляхом швидкого обертання заповненої бетоном закритої форми з одночасним ущільненням бетону.

Натяг арматури здійснюється таким чином. Форма, що заповнена бетонною сумішшю з деяким надлишком в горловині, швидко обертається. Під дією відцентрових сил суміш розподіляється і відкидається до рухомих торців форми, ущільнюється і через дію тиску розсуває їх.

Оскільки кінці арматури закріплені на торцях анкерами, то вона натягається. У центральній частині форми бетонна суміш ущільнюється вібропоршнем. Статичне навантаження на поршень передається шарніром. Так, натяг арматури та ущільнення бетону відбуваються одночасно за одну операцію. Після придбання бетоном необхідної міцності форму знімають з конструкції.

Розроблено метод одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій. Цей метод здійснюється за допомогою використання дії відцентрових вил обертання. Наведені залежності для визначення технологічних параметрів – швидкості обертання форми з бетонною сумішшю, величини тиску і попереднього напруження арматури. Доповнена відома класифікація методів виготовлення попередньо напружених

залізобетонних конструкцій механічним методом натягу арматури «на бетонну суміш», що здійснюється завдяки дії відцентрових сил.

Ключові слова: *відцентрові сили, міцність, попереднє напруження, свіжоукладена бетонна суміш, пресування, щільність, механічний спосіб .*

Chekanovych M. H. A method of prestressing reinforced concrete structures that increases their strength

The study considers and analyzes technologies of prestressing of reinforced concrete structures known in wide construction practice. Technological methods of manufacturing prestressed reinforced concrete structures are divided by the method and time of tensioning of steel, by methods of its placement and pretension and by fastening of pretention bars in concrete. According to the method and time of tensioning of steel all prestressed structures are combined into two groups: elements with pretentioning before placing of concrete and elements with posttensioning on hardened concrete. Such methods of prestressing, as a rule, do not compact concrete mix and therefore reserves of durability, water and frost resistance of materials remain unused.

In the presented work the original practical way of preliminary tension of steel of reinforced concrete products is developed; it includes well-known operations: playcing of steel in the form, tension of steel, the subsequent fixing of steel elements. What distinguishes the proposed method is that in order to increase the degree of prestressing of the structure and its strength, the ends of steel bars are fixed with anchors on the moving ends of the form, and their tension is performed by rapid rotation of the concrete-filled closed form with simultaneous compaction of concrete.

The tension of steel is performed as follows. The form, filled with concrete mixture with some excess in the throat, rotates quickly. Under the action of centrifugal forces, the mixture is distributed and thrown to the moving ends of the form, compacted and due to the action of pressure pushes the ends apart.

Since the steel bars are fixed at the ends of the form by anchors, they are strained. In the central part of the form, the concrete mixture is compacted with a vibrating piston. Static load onto the piston is transmitted by a hinge. Thus, the tensioning of bars and compaction of concrete occur simultaneously in one operation. After concrete reaches the required strength, the form is removed from the structure.

A method of simultaneous prestressing and pressing of reinforced concrete structures has been developed. This method is carried out using the action of centrifugal forces. Dependences for determination of technological parameters – speed of rotation of the form with concrete mix, value of pressure and pretensioning of steel are provided. This new mechanical method of tensioning of steel on concrete mix, which is carried out due to the action of centrifugal forces, is added to the existing classification of methods of manufacturing prestressed reinforced concrete structures.

Key words: *centrifugal forces, strength, prestress, freshly-placed concrete mix, pressing, density, mechanical method.*

Вступ. Основа прогресу багато в чому визначається новими технологіями в суспільствах. Не виключенням є галузь будівництва. Оригінальні рішення стають в нагоді для отримання якісно нових результатів. Для попередньо напружених залізобетонних конструкцій таким новим рішення може бути суміщення різних технологічних операцій в одну, що дає перевагу як в часових рамках, так і з точки зору енерговитрат. Для залізобетонних конструкцій завдяки попередньому напруженню досягається їх жорсткість і тріщиностійкість, а при пресуванні – зміцнення бетону конструкції. Суміщення цих двох процесів в один та ще й виконання їх за рахунок відцентрових сил представляється перспективним для розвитку галузі будівництва [1-10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічні особливості виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій прийнято поділяти за способом і часом натягу арматури, за способами її укладки і напруження та за кріплення у бетоні напруженої арматури. За способом і часом натягу арматури всі попередньо напружені конструкції об’єднані у дві групи: елементи з натягом арматури на упори до бетонування та елементи з натягом арматури після бетонування на затверділий бетон [1-9]. Такі способи попереднього напруження, як

правило, не ущільнюють бетонну суміш і залишаються не використаними резерви міцності, водонепроникності і морозостійкості.

З іншої сторони відомий метод формування залізобетонних виробів у вигляді труб, паль кільцевого перерізу за рахунок відцентрових сил. Тут бетонна суміш у трубчастій формі при її обертанні розподіляється рівномірно по формі і ущільняється. В цьому випадку виготовлення поздовжня робоча арматура не напружується і конструкція у поздовжньому напрямку не є попередньо напруженою.

Постановка проблеми. Оскільки відомі методи технології попереднього напруження і ущільнення бетону не вкладаються в одну технологічну операцію, не одночасні за часом виконання, то виникає необхідність розроблення альтернативного оригінального методу, що забезпечить високу міцність жорсткість і тріщиностійкість. Залишається не використаним резерв міцності будівельних матеріалів. У зв'язку з цим розробка методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій на основі дії відцентрових сил представляється перспективною у галузі будівництва [1-4].

Метою дослідження є розробка методу одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій за допомогою використання відцентрових вил обертання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Представляється теоретично можливим спосіб натягу арматури відносно свіжовкладеної, обтисненої бетонної суміші, де натяг арматури відбувається за часом у процесі бетонування конструкції.

В роботі розроблений оригінальний практичний спосіб попереднього напруження арматури залізобетонних виробів, який включає добре відомі операції: укладку арматури у форму, натяг арматури, наступну фіксацію арматури [8]. Відрізняється запропонований спосіб тим, що для підвищення ступеня попереднього напруження конструкції та її міцності кінці арматури закріплюють на рухомих торцях форми, а натяг її виконують шляхом обертання заповненої бетоном закритої форми з одночасним ущільненням бетону [11].

Конструкція у формі під час бетонування і натягу арматури зображена на рис. 1, де напружена арматура 1 закріплена анкерами 2 на рухомих торцях 3 замкненої форми 4, обладнаної вібропоршнем 3 шарніром 6 та обмежувачами 7; форма 4 встановлена на обертовий стенд 8 і вміщує бетонну суміш 9.

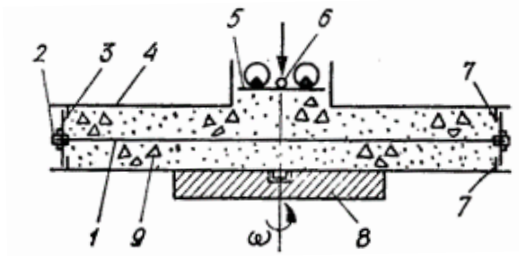


Рис. 1. Конструкція у формі під час бетонування та натягу арматури

Натяг арматури відбувається таким чином. Форма, що заповнена бетонною сумішшю з деяким надлишком, швидко обертається. Під дією відцентрових сил суміш відкидається до рухомих торців форми, ущільнюється і через те розсуває їх.

Оскільки кінці арматури закріплені на торцях анкерами, то вона натягається. У центральній частині форми бетонна суміш ущільнюється вібропоршнем. Статичне навантаження на поршень передається шарніром. Так, натяг арматури

та ущільнення бетону відбуваються одночасно за одну операцію. Після придбання бетоном необхідної міцності форму знімають з конструкції.

Завдяки ущільненню бетону центрифугуванням та вібропресуванням підвищується його міцність. Висока ступінь ущільнення бетону на торцях конструкції, де знаходиться зона анкерування напруженої арматури, сприяє поліпшенню сумісної роботи арматури з бетоном та експлуатаційних властивостей конструкції в цілому.

Підвищення міцності бетону при виготовленні конструкцій запропонованим способом зменшує різницю між показниками міцності бетону і матеріалів, що входять до складу важкого бетону, наприклад, кварцу, граніту. Це дає змогу зробити висновок про підвищення ефективності використання будівельних матеріалів при наведеному способі.

Натяг арматури здійснюється на обтиснену бетонну суміш під час бетонування конструкції, тому віднести його до одного з двох традиційно прийнятих груп способів було б помилковим. На підставі цього пропонується доповнити існуючу класифікацію способів виготовлення попередньо напружених конструкцій способом натягу арматури на бетонну суміш (рис. 2).

Рис. 2. Способи натягу, укладки, напруження та закріплення у бетоні арматури

Частота обертання форми за 1 хвилину визначається на стадії розподілення суміші за виразом:

$$n_{розп.} = \frac{600}{\sqrt{2r_в}}, \quad (1)$$

де $r_в$ – розмір горловини опалубної форми.

Тиск на рухомі торці опалубної форми при її обертанні визначається залежністю:

$$P = \left(\frac{n_{ущ.}}{3240}\right)^2 \frac{r_н^3 - r_в^3}{r_н} + p - T, \quad (2)$$

де $n_{ущ.}$ – частота обертання форми за 1 хвилину на стадії ущільнення суміщі і попереднього напруження арматури; $r_н$ – відстань між рухомими торцями опалубної форми; p – величина тиску, що передається через горловину на торці форми; T – сумарна сила тертя.

Попереднє напруження в арматурі визначається за виразом:

$$\sigma_s = \frac{P \cdot F - N}{A_s}, \quad (3)$$

Тут F – площа рухомого торця; N – сумарна величина сили втрат попереднього напруження; A_s – площа поперечного перерізу арматури.

Щодо способу напруження арматури, то його слід віднести до групи механічних способів, які, в свою чергу, підрозділяють на підгрупи за видом приводу для натягу арматури, а саме: натяжні механізми і домкрати, вантажні, гвинтові та важелеві пристрої. Запропонований спосіб не можна віднести до жодної з цих підгруп, тому їх слід доповнити способом натягу арматури з використанням пристроїв центрифугових.

Розширення традиційної схеми способів дає можливість для пошуку нових шляхів удосконалення технології виробництва попередньо напружених залізобетонних конструкцій, зокрема за рахунок способів, де використовується натяг арматури на обтиснену бетонну суміш до її затвердіння у конструкції. За такими способами, як правило сумішуються натяг арматури і обтиснення бетонної суміші, що сприяє підвищенню щільності і міцності бетону, а також поліпшенню сумісної роботи арматури і бетону в конструкції.

Висновки і пропозиції. Таким чином, розроблено метод одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій за допомогою використання відцентрових вил обертання. Наведені залежності для визначення технологічних параметрів. Доповнена класифікація методів виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій механічним методом натягу арматури «на бетонну суміш», що здійснюється завдяки дії відцентрових сил.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стефанов В.В. Технология бетонных и железобетонных изделий. К.: Вища шк., 1972. 356 с.

2. Леонгардт Ф. Предварительно напряженный железобетон. М.: Стройиздат, 1983. 244 с.

3. Бабич Є., Жук Є. Вплив величини напруги початкового і тривалого і тривалого пресування на міцність бетону. *Будівельні матеріали і конструкції.* 1973. № 1. С. 36-37.

4. Розрахунок будівельних конструкцій: навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60-75.

5. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения: ДБН В.2.6-98:2009. [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 71 с. (Государственные строительные нормы Украины).

6. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010.- [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 166 с. (Национальный стандарт Украины).

7. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p.30-82.

8. British Standards Institute, (2000), Structural Use of Steelwork in Building, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections,‖ BS 5950-1:2000.

9. Chekanovych M. Self-Regulating Prestressing System Proceeding of Second fib Congress. 2006, Naples, Italy, p. 230-238.

10. Chekanovych M. G. Reinforced Concrete Beams Strengthened With A Concrete Insert And External Bars / *Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology* Vol. 2, Warsaw, Poland, July 31, 2019, p. 3-9.

11. Способ предварительного напряжения арматуры железобетонных изделий: А. с. 1330284 СССР, МКИ Е 04 G 21/12. / М. Г. Чеканович. № 3992514/29-33; заявл. 19.12.85; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30. 2 с.

REFERENCES:

1. Stefanov V.V. (1972). Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Kyiv: Vishcha shk. 356 s. [in Russian]

2. Leongardt F.(1983). Predvaritel'no napryazhennyj zhelezobeton [prestressed concrete]. Moscow: Strojizdat, 244 s. [in Russian]

3. Babych Ye., Zhuk Ye. (1973). Vplyv velychyny napruhy pochatkovoho i tryvaloho i tryvaloho presuvannia na mitsnist betonu. [Influence of initial and long-term and long-term compressive stress on concrete strength]. *Budivelni materialy i konstruktsii* [Building materials and structures]. № 1. S. 36-37. [in Ukrainian]

4. Chekanovych M.H., Yanyn O.YE. (2021). *Rozrakhunok stroytel'nykh konstruktsyy* [Calculation of building structures]. Kherson. OLDY-PLYUS. 60-75. [in Ukrainian]

5. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii iz tyazhelogo betona. Osnovnye polozheniya (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 71 s. [in Russian]

6. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii iz tyazhelogo betona. Pravila proyektirovaniya: DSTU B V.2.6-156:2010 (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 166 s. [in Russian]

7. Eurocode 2: *Design of concrete structures.* Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30-82. [in English]

8. British Standards Institute, (2000). *Structural Use of Steelwork in Building*, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections,‖ BS 5950-1:2000. [in English]

5. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii iz tyazhelogo betona. Osnovnye polozheniya: DBN V.2.6-98:2009 [Deystv. ot 2011-06-01]. K., 2011. 71 s. (Gosudarstvennye stroitelnye normy Ukrainy). http://www.dbn.at.ua.

6. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii iz tyazhelogo betona. Pravila proektirovaniya: DSTU B V.2.6-1568:2010 [Deystv. ot 2011-06-01]. K., 2011. 166 s. (Gosudarstvennyi standart Ukrainy). http://www.dbn.at.ua.

7. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30-82.

8. British Standards Institute, (2000), ―Structural Use of Steelwork in Building, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections,‖ BS 5950-1:2000.

9. Chekanovych M. (2006). Self-Regulating Prestressing System Proceeding of Second fib Congress. Naples, Italy. p. 230-238.

10. Chekanovych M. G. (2019). Reinforced Concrete Beams Strengthened With A Concrete Insert And External Bars / Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology Vol.2, Warsaw, Poland, July 31. p. 3-9.

11. Chekanovich M. G. (1987). *Sposob predvarytelnoho napriazhenyia armaturyi zhelezobetonnyih izdeliy (avtorskoye svidetel'stvo* 1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. /. #3992514/29-33) [The method of prestressing reinforcement of reinforced concrete products certificate of authorship1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. /. #3992514/29-33)] Byul.no. 30. 2s. [in Russian]

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Антіпова К. О. 27
Антоненко А. В. 100
Артюхов В. Г. 3
Берестовий А. М. 79
Богатко Л. М. 119
Богатко Н. М. 119
Брикова Т. М. 110
Британов О. А. 3
Бровенко Т. В. 100
Букалова Н. В. 119
Василенко О. В. 100
Васильчук Д. П. 16
Гіоргізова-Гай В. Ш. 3
Горач О. О. 128
Горбань Г. В. 27
Джміль В. І. 119
Дорожинська Г. В. 38
Дорожинський Г. В. 38
Желєзна В. В. 133
Залужна Г. В. 16
Зінов'єва О. Г. 56
Кандиба І. О. 27
Квасніков В. П. 49
Квашук Д. М. 49
Кіпіоро І. М. 156
Кірей К. О. 27
Кірюша Б. А. 3
Криворучко М. Ю. 100
Любич В. В. 133
Лясота В. П. 119
Маслов В. П. 38
Михайлова А. В. 88
Мозговенко А. А. 56
Морозова О. С. 182
Морозов В. В. 182
Морозов О. В. 182
Мурасов Р. К. 88
Невольніченко А. І. 88
Новікова Н. В. 156
Олійник М. І. 144
Пиріков О. В. 88
Приліпко Т. М. 119
Романуша В. О. 16
Ряполова І. О. 156
Самілик М. М. 168
Слабінога М. О 63
Сокульський О. Є. 70
Сомчинська К. О. 49
Стіканов В. Ю. 3
Стратуца Я. С. 133
Стукальська Н. М. 100
Титоренко О. В. 3
Ткаченко А. С. 175
Ткаченко М. С. 70
Толок Г. А. 100
Утеченко М. В. 119
Федоренко А. В. 38
Чабан С. В. 63
Чеканович М. Г. 198
Чикунов П. О. 79
Чумаченко С. М. 88

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ 3

Артюхов В. Г., Бритов О. А., Гіоргізова-Гай В. Ш., Кірюша Б. А., Стіканов В. Ю., Титоренко О. В. Локальне позиціонування по Wi-Fi з використанням мікроконтролерів 3

Васильчук Д. П., Залужна Г. В., Романуша В. О. Модифікация методики визначення параметрів еквівалентної електричної схеми п'єзорезонатора на основі моделі Butterworth – Van Dyke 16

Горбань Г. В., Кандиба І. О., Антіпова К. О., Кірей К. О. Первинний та візуальний аналіз даних спортивних результатів з академічного веслування засобами мови Python з використанням бібліотек Pandas, Matplotlib та Seaborn 27

Дорожинська Г. В., Федоренко А. В., Дорожинський Г. В., Маслов В. П. Властивості сенсорів поверхневого плазмонного резонансу з підшаром ІТО 38

Квасніков В. П., Квашук Д. М., Сомчинська К. О. Мережева автоматизована система для вимірювання робочих характеристик електрогенераторів вітрових турбін 49

Мозговенко А. А., Зінов'єва О. Г. Аналіз методів комп'ютерного зору в задачах ідентифікації осіб у відеопотоці 56

Slabinoha M. O., Chaban S. V. Design of web-applications in the context of optimizing their performance 63

Ткаченко М. С., Сокульський О. Є. Принципи організації процедури машинного аналізу на основі згорткової нейромережевої архітектури 70

Чикунов П. О., Берестовий А. М. Правила розробки та застосування інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень для дворівневих підприємств 79

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ 88

Невольніченко А. І., Чумаченко С. М., Михайлова А. В., Пиріков О. В., Мурасов Р. К. Моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури з використанням методу системної динаміки 88

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ 100

Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Василенко О. В., Стукальська Н. М., Криворучко М. Ю., Толок Г. А. Технологія кондитерських виробів з використанням порошків тропічних рослин 100

Брикова Т. М. Використання кефіру та масла для виробництва інноваційного кисломолочного сиру 110

Букалова Н. В., Приліпко Т. М., Богатко Н. М., Лясота В. П., Джміль В. І., Утеченко М. В., Богатко Л. М. Санітарно-гігієнічний контроль виробництва молока-сировини коров'ячого та його мікробіологічний аналіз 119

Горач О. О. Проблеми та перспективи розвитку виробництва безглютенових продуктів харчування в Україні 128

Любич В. В., Желєзна В. В., Стратуца Я. С. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості 133

Олійник М. І. Продукти, отримані шляхом переробки рибної сировини, та методи їх виділення 144

Ряполова І. О., Новікова Н. В., Кіпіоро І. М. Експертиза розробленої консервної продукції функціонального призначення «Свинина з грибами» 156

Самілик М. М. Вплив осмотичної дегідратації на амінокислотний склад *Sorbus aucuparia* 168

Ткаченко А. С. Перспективи застосування органічного лемонграссу у рецептурах борошняних кондитерських виробів 175

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ 182

Морозов О. В., Морозов В. В., Морозова О. С. Теоретико-методологічне обгрунтування та практичне впровадження порядку проведення інвентаризації об'єктів меліоративної інфраструктури зрошувальних систем 182

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ 198

Чеканович М. Г. Метод одночасного попереднього напруження і пресування залізобетонних конструкцій 1988

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY 3

Artuhov V. G., Brytov O. A., Hiorhizova-Hai V. S., Kyriusha B. A., Stikanov V. J., Tytorenko A. V. Wi-Fi indoor positioning using microcontrollers 3

Vasylchuk D. P., Zaluzhna G. V., Romanusha V. O. Modification of the methodology of determination of parameters of equivalent electrical scheme of piezoresonator on the basis of model Butterworth – Van Dyke 16

Horban H. V., Kandyba I. O., Antipova K. O., Kirei K. O. Primary and visual analysis of rowing performance data by means of Python using Pandas, Matplotlib and Seaborn libraries 27

Dorozinska H. V., Fedorenko A. V., Dorozinsky G. V., Maslov V. P. Properties of surface plasmon resonance sensors with ito layer 38

Kvasnikov V. P., Kvashuk D. M., Somchinska C. O. Network automated system for measuring the operating characteristics of wind turbine generators 49

Mozghovenko A. A., Zinovieva O. G. Analysis of computer vision methods in the problems of personal identification in video flow 56

Slabinoha M. O., Chaban S. V. Design of web-applications in the context of optimizing their performance 63

Tkachenko M. S., Sokulskyi O. Ye. Principles of machine analysis procedure organization based on convolutional neural network architecture 70

Chykunov P. O., Berestovyi A. M. Rules for development and application of the information support for the decision making proceedings for two-level enterprises 79

SYSTEM ANALYSIS 88

Nevolnichenko A. I., Chumachenko S. M., Mykhailova A. V., Pyrikov O. V., Myrasov R. K. Modelling of threats of emergencies at critical infrastructure facilities using systemic dynamics method 89

FOOD TECHNOLOGY 100

Antonenko A. V., Brovenko T. V., Vasylenko O. V., Stukalska N. M., Kryvoruchko M. Yu., Tolok G. A. Technology of confectionery using powders of tropical plants 100

Brykova T. M. Manufacturing the innovative sour milk cheese using kefir (yoghurt) and butter 110

Bukalova N. V., Prilipko T. M., Bogatko N. M., Lyasota V. P., Djmil V. I., Utechenko M. V., Bogatko L. M. Sanitary and hygienic control of cow's milk production and its microbiological analysis 119

Gorach O. O. Problems and prospects of development of gluten-free food production in Ukraine 128

Liubych V. V., Zheliezna V. V., Staratutsa Ya. S. Prospects of using triticale in the bakery industry 133

Oliinyk M. I. Products obtained by processing fish raw materials and methods for their isolation 144

Ryapolova I. O., Novicova N. V., Kipioro I. M. Examination of the developed canned products of functional purpose "Pork with mushrooms" 156

Samilyk M. M. Effect of osmotic dehydration on the amino acid composition of Sorbus aucuparia..... 168

Tkachenko A. S. Prospects of using of organic lemongrass in recipes of flour confectionery 175

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES..... 182

Morozov O. V., Morozov V. V., Morozova O. S. Theoretical-methodological substantiation and practical implementation of the procedure for inventory of objects of meliorative infrastructure 182

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING..... 198

Chekanovych M. H. A method of prestressing reinforced concrete structures that increases their strength..... 198

Таврійський науковий вісник

Випуск 3

Технічні науки

Підписано до друку 24.06.2022 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 17,06.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
Україна, м. Одеса, 65101, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.