

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

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет



Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

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

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 7 від 27.01.2022 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 1. 208 с.

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

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

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

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

Редакційна колегія:

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

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 681.518

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.1>

АВТОМАТИЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ДИСТАНЦІЙНОМУ ФОРМАТІ

*Гайдай Г.Ю. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри морського приладобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID ID: 0000-0002-7454-8007*

*Грешнов А.Ю. – доцент кафедри морського приладобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID ID: 0000-0002-9350-1554*

У статті розроблено автоматизовану комп'ютерну систему для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі, яка дає змогу реалізувати алгоритм проведення багатьох лабораторних досліджень у віддаленому режимі в умовах карантину та поза ним під повним контролем викладача. Виконано порівняльний аналіз наявних систем для проведення дистанційних експериментальних досліджень. Представлено структурні схеми вебдодатку, бази даних та автоматизованої системи загалом. Розроблено програмне забезпечення у вигляді вебдодатку, який контролює автоматизовану систему. Представлено налаштування програм віддаленого адміністрування на робочих станціях. Автоматизовану систему призначено для підвищення зручності та якості проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі студентами й науковими діячами, а також для автоматизації процесу отримання даних і дистанційного підключення до електронних обчислювальних машин у ході проведення експериментальних досліджень. Систему створено з метою, по-перше, автоматизації та підвищення зручності виконання дистанційних експериментальних досліджень; по-друге, створення вебдодатку, який буде давати змогу зручно підключатися до робочої станції, контролювати її та запобігати несанкціонованому доступу до системи; по-третє, забезпечення дистанційного отримання даних та інформації про проведення експериментальних досліджень. У результаті створення системи було поліпшено значення таких показників, як зручність проведення експериментальних досліджень, економія часу, що витрачається на проведення досліджень, та кількість одночасних користувачів системи. Розроблено архітектуру системи, вебдодатку та бази даних. Система будується навколо вебдодатку

та програм для віддаленого адміністрування. Вебдодаток побудовано за архітектурою MVC. Серверну частину програми написано мовою програмування PHP та SQL, а клієнтську частину – мовами HTML, CSS (Bootstrap), JavaScript (jQuery). База даних керується системою управління базою даних MySQL. Як програми віддаленого адміністрування в системі використовуються Microsoft RDP та TeamViewer. Розроблено основний вебдодаток та описано налаштування програм віддаленого адміністрування Microsoft RDP і TeamViewer на робочих станціях. Розроблення вебдодатку організовано у два етапи: спочатку розроблено клієнтську частину, а потім серверну. Основну увагу приділено кібербезпеці та обліку подій у вебдодатку. Основною функцією системи є оптимізація наукової діяльності та навчального процесу шляхом надання можливості проведення досліджень у дистанційному форматі. Для підвищення надійності системи використовуються дві програми віддаленого адміністрування, а також ведеться облік подій системи. Результатом використання розробленої системи є підвищення якості результатів досліджень і навчального процесу, а також оптимізація процесів обслуговування системи.

Ключові слова: комп'ютерна система, автоматизація, дистанційне навчання, віддалене адміністрування, експеримент.

Haidai H. Yu., Hrieshnov A. Yu. Automated computer system for experimental research in remote format

In the article the automated computer system for conducting experimental research in a remote format was developed, which allows you to implement an algorithm for conducting many laboratory tests remotely in quarantine and outside it under the full control of the teacher. A comparative analysis of existing systems for remote experimental research was performed. Structural diagrams of the web application, database and automated system in general are presented. The software in the form of a web application that controls an automated system was developed. The settings of remote administration programs on workstations are given. The automated system is designed to improve the convenience and quality of conducting experimental research in a remote format by students and researchers, as well as to automate the process of obtaining data and remote connection to a computer during experimental research. The system was created to automate and increase the convenience of remote experimental research; creating a web application that will allow you to conveniently connect to the workstation, control and prevent unauthorized access to the system; providing remote data acquisition and information on experimental research. As a result of system creation the value of the following indicators has been improved: convenience of carrying out experimental researches; saving time spent on research; the number of simultaneous users of the system. System architecture, web application and database were developed. The system is built around a web application and programs for remote administration. The web application is built on the MVC architecture. The server part of the program is written in the programming language PHP and SQL, and the client part – in HTML, CSS (Bootstrap), JavaScript (jQuery). The database is managed by the MySQL database management system. Microsoft RDP and TeamViewer are used as remote administration programs in the system. The basic web application was developed and described how to configure Microsoft RDP and TeamViewer remote administration programs on workstations. The development of the web application was divided into two parts: first the client part was developed, and then the server part. Cybersecurity and event accounting in a web application were the focused on. The main function of the system is to optimize scientific activities and the educational process by providing the opportunity to conduct research in a remote format. To increase the reliability of the system, two remote administration programs are used, as well as accounting for system events. The result of using the developed system is to improve the quality of research results and the learning process, as well as optimization of system maintenance processes.

Key words: computer system, automation, distance learning, remote administration, experiment.

Постановка проблеми. Автоматизована система для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі є дуже актуальною для студентів і наукових діячів. Якщо раніше мало кому була потрібна така система, то під час пандемії постала проблема доступності технічних засобів для проведення досліджень, оскільки ця система дає змогу, не виходячи з дому, дистанційно взаємодіяти з електронними обчислювальними машинами, проводити дослідження, практичні й лабораторні роботи. Водночас такі нововведення, окрім основної функції захисту життя і здоров'я студентів та персоналу навчального закладу, мають додаткові

переваги, зокрема: можливість для студентів і викладачів фізично перебувати далеко від навчального закладу та в комфортній для кожного обстановці, можливість за певний проміжок часу надавати освіту більшій кількості людей шляхом автоматизації великої кількості процесів, до яких можна віднести створення й перевірку тестів, ведення звітів, пошук і надання навчального матеріалу тощо [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча автоматизовані системи для віддаленого управління комп'ютером з'явилися досить давно, активно розвиваються й поширюються вони стали тільки нещодавно. Станом на осінь 2021 р. на ринку представлено не так багато компаній, що надають функціонал, який можна назвати повноцінною системою [2]. Здебільшого реалізовано програми для віддаленого адміністрування, які не можуть об'єднувати комп'ютери у зручну для адміністрування й використання систему. Серед таких систем можна виділити LabStats, RemotePC, Splashtop, Remote Lab, систему Університету Вікторії [3]. Усі вони активно використовуються в багатьох світових університетах для різних робіт і досліджень. Ці системи дуже схожі між собою, проте все ж мають суттєві відмінності.

Так, система LabStats має мінімалістичний дизайн інтерфейсу та функціонал, присутній дефіцит корисної інформації. Підключення можливе через вебінтерфейс із віддаленим адмініструванням через сторонні додатки. Дистанційне адміністрування можливе через Windows, Linux, MacOS, а робоча станція підтримує MacOS або Windows. Для освітніх цілей вартість становить 8 \$ на рік за один комп'ютер, а також початковий внесок 1000 \$ [2].

Система RemotePC має розширений дизайн інтерфейсу та функціонал, присутня вся необхідна інформація. Підключення можливе через вебдодаток або програму на комп'ютері, контроль і віддалене адміністрування відбувається через спеціальну програму RemotePC. Дистанційне адміністрування можливе через Windows, Linux, MacOS, а робоча станція підтримує MacOS, Windows, Linux, Android. Ціна залежить від кількості комп'ютерів у системі. Наприклад, 100 комп'ютерів на рік коштують 599,50 \$ [4].

Система Splashtop має зручний для адміністрування інтерфейс вебдодатку, проте інтерфейс програми для комп'ютера менш зручний для адміністрування системою. Підключення до системи може здійснюватися через програму для комп'ютера або вебдодаток, віддалене адміністрування відбувається лише через програму для комп'ютера. Дистанційне адміністрування можливе через Windows, Linux, MacOS, а робоча станція підтримує MacOS, Windows, Android. Вартість використання системи становить 6,19 \$ за одного користувача на місяць (якщо користувачів понад 10). Окрім оплати за користування, за потреби є окрема плата за додаткові послуги, наприклад технічну підтримку. У такому разі ціни починаються від 17 \$ на місяць [5].

Система Remote Lab має мінімалістичний інтерфейс вебдодатку. Підключення й керування системою можливе лише через вебдодаток, програма для комп'ютера відсутня. Віддалене адміністрування відбувається через сторонні програми. Дистанційне адміністрування можливе через Windows, Linux, MacOS, а робоча станція підтримує лише Windows. Система має відкритий код і поширюється безкоштовно. Тому ця система є кращою для тих, хто не має великих коштів на її підтримку, однак при цьому має знання з програмування та адміністрування вебсерверу для розгортання й підтримки системи [6].

Система Університету Вікторії має найпростіший інтерфейс з-поміж усіх розглянутих. Вона має лише вебдодаток для підключення та адміністрування системою,

а віддалене керування робочою станцією відбувається через сторонні програми. Дистанційне адміністрування можливе через Windows, Linux, MacOS, а робоча станція підтримує лише Windows. Система є повністю закритою та не поширюється за межі університету, тому неможливо визначити вартість її використання [7].

Постановка завдання. Метою статті є розроблення автоматизованої системи для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі, яка дасть змогу реалізувати алгоритм проведення багатьох лабораторних досліджень у віддаленому режимі в умовах карантину та поза ним під повним контролем викладача. Основним призначенням системи є автоматизація процесу отримання даних і дистанційного підключення до електронних обчислювальних машин у ході проведення експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автоматизована система має працювати на сервері та x86 сумісних персональних комп'ютерах. Мінімальна конфігурація комп'ютера, з якого будуть підключатися, є такою:

- центральний процесор – AMD Ryzen 3 1200 3.2GHz, Intel Core i3-8100 3.6GHz або кращий;
- оперативна пам'ять – DDR4-2400 4096 Мб або краща;
- вимоги до графічного адаптера – підтримка OpenGL 3.2;
- обсяг вільного місця на жорсткому диску – 1536 Мб;
- швидкість передачі даних через мережу Інтернет – 6 Мбіт/с.

Комп'ютер, з якого буде здійснюватися підключення, повинен працювати під операційною системою Windows(8/8.1/10/11), Linux ARM або MacOS (10.12 Sierra та вище). Робоча станція має працювати під операційною системою Windows (8/8.1/10 Pro). Сервер повинен працювати під управлінням вебсервера Apache та підтримувати PHP (5.4 і вище), а також MySQL (5.0.4 і вище).

З огляду на вимоги, що пред'являються до системи, найкращим способом її реалізації є вебдодаток, оскільки, на відміну від звичайної програми для комп'ютера, доступ до нього можна легко отримати через інтернет, моніторити стан системи та вести облік подій [8].

Серверна частина вебдодатка реалізується за допомогою мови програмування PHP та SQL [9]. Клієнтська частина реалізується за допомогою мови розмітки HTML та стилізації CSS із використанням фреймворку Bootstrap, а також мови програмування JavaScript із використанням бібліотеки jQuery [10]. Вебдодаток розроблено за архітектурним шаблоном MVC (Model-view-controller). Шаблон передбачає поділ програми на три компоненти. Таким чином, система, що розробляється, матиме впорядковану, зрозумілу, а також гнучку структуру для подальшого розроблення й експлуатації.

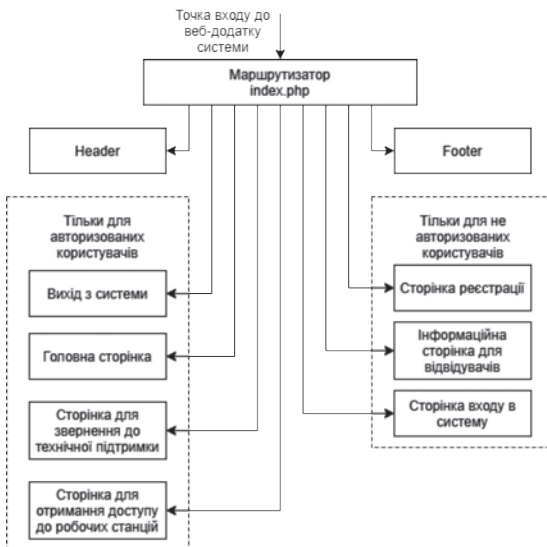


Рис. 1. Структурна схема вебдодатку

З огляду на вимоги до системи вебдодаток доцільно розділити на дві частини: для авторизованих користувачів та для звичайних відвідувачів. Це може запобігти несанкціонованому доступу до системи та допоможе вести облік дій користувачів, які не будуть анонімними. Структурну схему вебдодатку представлено на рис. 1.

Після архітектури самого вебдодатку розробляємо архітектуру його складника – бази даних. Як систему управління базою даних було вибрано MySQL [8], яка підтримує велику кількість типів таблиць і має інтерфейс прикладного програмування (API) для мови PHP, якою розробляється вебдодаток. Структурну схему бази даних зображено на рис. 2.

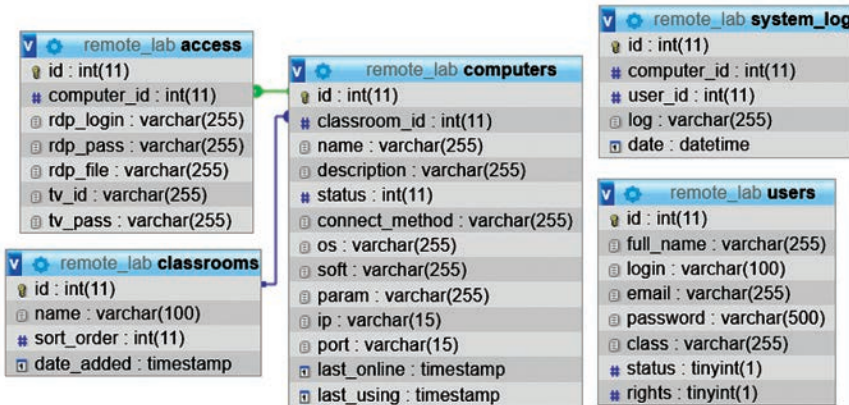


Рис. 2. Структурна схема бази даних вебдодатку

У системі, що розробляється, можна виділити чотири основні частини (відображені на рис. 3):

- комп'ютер, з якого підключається користувач;
- вебдодаток – компонент системи, розміщений на комп'ютері сервера, що керується за допомогою вебсервера Apache та використовує систему управління базою даних MySQL;
- програми віддаленого адміністрування – компонент системи, що являє собою дві програми для віддаленого адміністрування робочою станцією: Microsoft RDP та TeamViewer [11];
- робочу станцію – компонент системи, робочий комп'ютер зі стабільним підключенням до мережі Інтернет.

Структурна схема системи, яку було одержано, схожа з типовою схемою, що була розглянута під час аналізу наявних систем, однак ця схема має деякі суттєві доопрацювання та покращення, зокрема:

а) для підвищення надійності системи використовуються дві різні програми віддаленого доступу; користувач сам може вибрати, через яку з них підключатися (якщо одна програма віддаленого доступу не працюватиме, то буде варіант підключення через іншу);

б) з'єднання з вебдодатком здійснюється через протокол HTTPS. Сама програма має пароль htpasswd та не індексується в інтернеті через файл robots.txt, щоб приховати сайт у мережі Інтернет і позбутися «випадкових» відвідувачів.

Розроблення програмного забезпечення системи. Розроблення вебдодатку відбувалося в середовищі розроблення PhpStorm 2019.3.1, а сам вебдодаток

розміщений на локальному вебсервері OpenServer 5.5.2 [6]. Для реалізації та відтворення інтерфейсу вебдодатку використовувалася мова розмітки HTML, мова стилів CSS із використанням фреймворку Bootstrap, а також Java Script із бібліотекою JQuery. За основу дизайну верхньої частини сторінки було вибрано адаптивне верстання від MarkupTag, перероблене й стилізоване під вебдодаток [10].

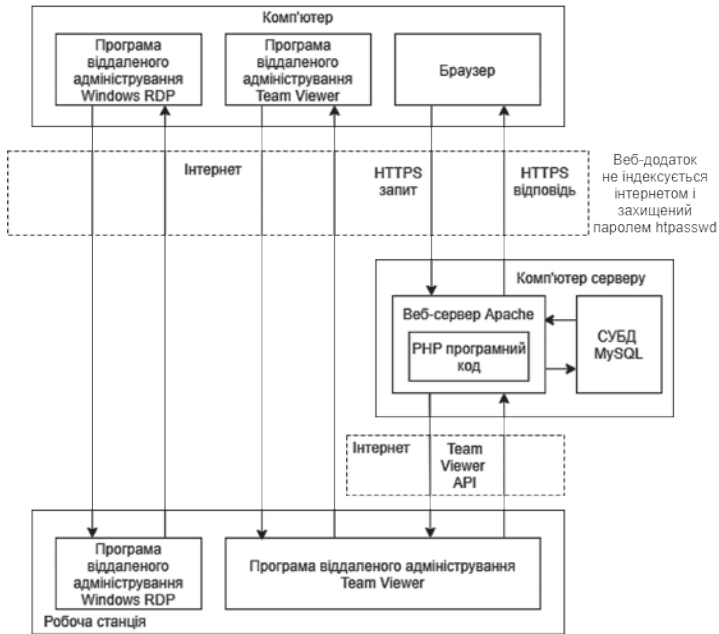


Рис. 3. Структурна схема автоматизованої системи

На сторінці авторизації (login.tpl.php) розташовані два поля для введення логіну та пароля, а також кнопка «Увійти» для авторизації. Під кнопкою знаходиться посилання на сторінку реєстрації (рис. 4).

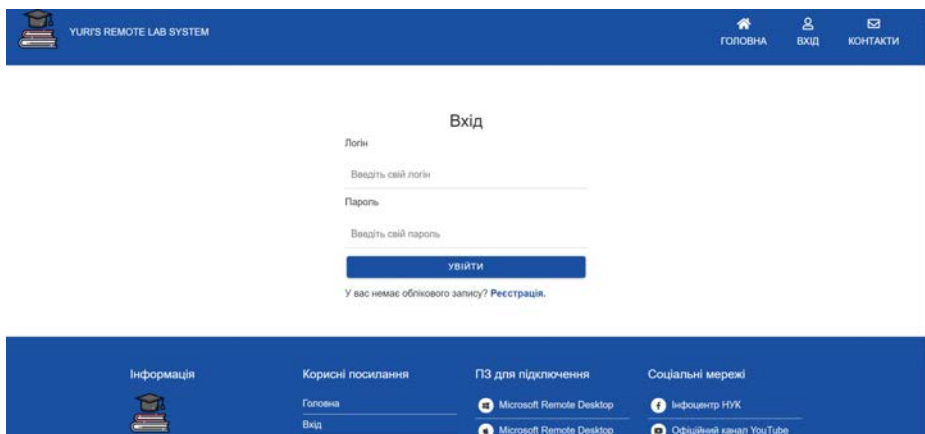


Рис. 4. Інтерфейс сторінки авторизації

Головна сторінка (main-page.tpl.php) є інформаційною та містить лише заголовки і текст для авторизованих користувачів. Такий самий інтерфейс мають сторінки технічної підтримки (support.tpl.php) та інформаційна сторінка для відвідувачів (info.tpl.php). Відрізняється лише інформація, що розміщена на сторінці.

Найважливішим інтерфейсом є сторінка з робочими станціями (classroom.tpl.php), через яку користувачі отримуватимуть доступ до робочих станцій. У лівій частині сторінки розміщено блок зі списком аудиторій (classrooms-list.tpl.php), у центральній частині сторінки – блок зі списком робочих станцій (computers-list.tpl.php). У списку аудиторій біля назви аудиторії поруч написано кількість робочих станцій, а вибрану аудиторію виділено окремим кольором. Список робочих станцій оформлено у вигляді блоків, розміщених у трьох стовпцях, у яких наведено основну інформацію про робочу станцію, а також дві кнопки – «Connect» і «Додаткова інформація». Якщо статус станції не «Онлайн», кнопка «Connect» відсутня (рис. 5). У разі натискання на кнопку «Connect» у блоці робочих станцій відкривається спливаюче вікно (computer-connect.tpl.php) з інформацією та даними для підключення.

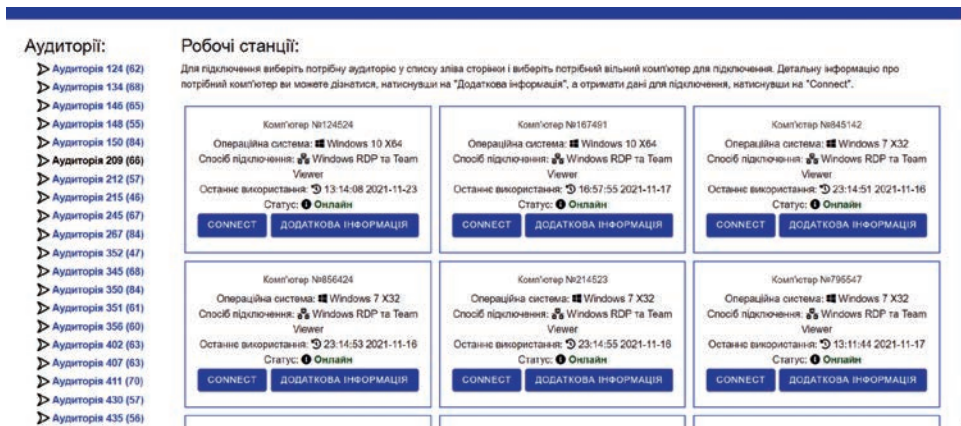


Рис. 5. Інтерфейс сторінки з робочими станціями

Інтерфейс адміністратора відрізняється від звичайного можливістю контролю над робочими станціями. У блоці опису робочих станцій присутня кнопка «Увімк/Вимк комп'ютер», що дає змогу адміністратору увімкнути або вимкнути робочу станцію (рис. 6).

Серверна частина складається з трьох основних частин: маршрутизатора, контролера та моделі. Маршрутизатор являє собою файл «index.php», який лежить у кореневій директорії та підключається в конфігураційному файлі «.htaccess». Завантаження контролерів відбувається під час маршрутизації у файлі «index.php». Усі контролери перебувають у директорії «catalog/controller». Модель являє собою файл «main.php», розташований у директорії «catalog/controller». Усередині файлу знаходяться функції, які виконують SQL запити до бази даних. Завантаження функцій моделі відбувається контролерами, коли потрібен доступ до бази даних. З'єднання з базою даних відбувається в конфігураційному файлі «config.php», що лежить у кореневій директорії. Контроль над робочими станціями відбувається за допомогою технології Wake-on-LAN, функції PHP fsockopen та правильного налаштування робочих станцій.



Рис. 6. Інтерфейс адміністратора на сторінці з робочими станціями

Важливою частиною вебдодатку є коректне ведення технічного обліку подій. Технічний облік здійснюється за допомогою контролерів сторінок і моделі в разі різних дій користувача. У контролері формується повідомлення обліку, яке передається моделі та записується до таблиці «system_log» бази даних. Звіт формується за таких дій користувача, як створення нового облікового запису користувача, авторизація до облікового запису, отримання доступу до робочої станції, перегляд інформації про робочу станцію, вихід з облікового запису.

Адміністратор системи може в будь-який час відкрити вебпрограму phpMyAdmin для перегляду технічного обліку подій (рис. 7).

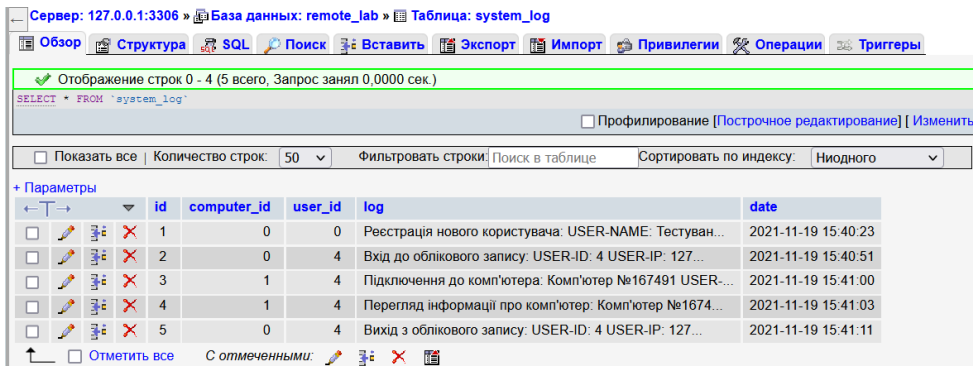


Рис. 7. Результати тестування технічного обліку подій

У системі для контролю над робочими станціями використовуються дві програми віддаленого адміністрування: Microsoft RDP та TeamViewer [11].

Висновки. З огляду на аналіз вимог, що висувалися до комп'ютерної системи, було розроблено автоматизовану систему для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі, яка дає змогу отримати захищений віддалений доступ до робочих станцій для проведення лабораторних досліджень та складається з вебдодатку, комп'ютера користувача, робочої станції і програм віддаленого

адміністрування. Основною функцією системи стала оптимізація наукової діяльності та навчального процесу шляхом надання можливості проведення досліджень у дистанційному форматі. Для підвищення надійності системи було використано дві програми віддаленого адміністрування, а також введено облік подій системи. Ця система дала можливість підвищити якість результатів досліджень і навчального процесу, а також оптимізувати процеси обслуговування системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дистанционные методы обучения. Состояние, проблемы, перспективы. *Дайдзест педагогичних ідей та технологій «Школа-парк»*. 2001. № 3–4. С. 81–103.
2. LabStats: About Us, 2021. URL: <https://labstats.com/about>.
3. Трохименко В.О. Дистанційне навчання педагогічних працівників: досвід і проблеми. *Післядипломна освіта в Україні*. 2004. Вип. 1. С. 29–32.
4. Frequently Asked Questions, 2021. URL: <https://www.remotepc.com/faq>.
5. Splashtop Remote Access & Remote Support Pricing, 2021. URL: <https://www.splashtop.com/pricing>.
6. Open Server Panel, 2021. URL: <https://ospanel.io/docs/>.
7. Remote Lab Access How To, 2021. URL: <https://www.uvic.ca/systems/facilities/remotelabaccess/remotelabhowto.php>.
8. Структура веб-приложения, 2021. URL: <http://labaka.ru/likbez/struktura-veb-prilozheniya>.
9. Котеров Д.В., Симдянов И.В. PHP 7. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. 1073 с.
10. Responsive Navbar with HTML CSS without Bootstrap – MarkupTag, 2021. URL: <https://www.markuptag.com/responsive-navbar-with-html-css-without-bootstrap>.
11. TeamViewer – The Remote Connectivity Software, 2021. URL: <https://www.teamviewer.com/en>.

REFERENCES:

1. (2001). Distantсионnye metody obucheniya. Sostoyanie, problemyi, perspektivy [Distance learning methods. State, problems, prospects]. *Daidzhest pedahohichnykh idei ta tekhnologii "Shkola-park" – Digest of pedagogical ideas and technologies "School-Park"*, no. 3–4, pp. 81–103 [in Russian].
2. (2021). LabStats: About Us. Retrieved from: <https://labstats.com/about> [in English].
3. Trokhymenko, V.O. (2004). Dystantsiine navchannia pedahohichnykh pratsivnykiv: dosvid i problemy [Distance learning of teachers: experience and problems]. *Pisliadyplomna osvita v Ukraini – Postgraduate education in Ukraine*, iss. 1, pp. 29–32 [in Ukrainian].
4. (2021). Frequently Asked Questions. Retrieved from: <https://www.remotepc.com/faq> [in English].
5. (2021). Splashtop Remote Access & Remote Support Pricing. Retrieved from: <https://www.splashtop.com/pricing> [in English].
6. (2021). Open Server Panel. Retrieved from: <https://ospanel.io/docs/> [in English].
7. (2021). Remote Lab Access How To. Retrieved from: <https://www.uvic.ca/systems/facilities/remotelabaccess/remotelabhowto.php> [in English].
8. (2021). Struktura veb-prilozheniya [Web Application Structure]. Retrieved from: <http://labaka.ru/likbez/struktura-veb-prilozheniya> [in Russian].
9. Koterov, D.V., Simdyanov, I.V. (2017). PHP 7. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg [in Russian].
10. (2021). Responsive Navbar with HTML CSS without Bootstrap – MarkupTag. Retrieved from: <https://www.markuptag.com/responsive-navbar-with-html-css-without-bootstrap> [in English].
11. (2021). TeamViewer – The Remote Connectivity Software. Retrieved from: <https://www.teamviewer.com/en> [in English].

УДК 728.1.012.1, 681.5

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.2>

ОСОБЛИВОСТІ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ НА ПРИКЛАДІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Гайдукевич С.В. – старший викладач кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання
Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-5910-5921

Семенова Н.П. – старший викладач кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання
Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0002-8478-9429

Леськів Я.А. – магістр
Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-9400-5491

У статті розглядаються особливості smart-технологій у процесі автоматизації житлового будинку з метою підвищення рівня життя людей. На прикладі лабораторної роботи з дисципліни «Віртуальні управляючі пристрої» розроблено та виготовлено систему керування електропристроями житлового будинку. На базі цієї системи здобувачі вищої освіти виконують автоматизацію змодельованого житлового чи виробничого приміщення, що сприяє підвищенню інтелектуального розвитку майбутніх спеціалістів і реалізації проєктів щодо їх підготовки в галузі проєктування систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання на базі сучасних smart-технологій, здатності розробляти й реалізовувати програми для точного функціонування різних пристроїв.

Розроблена система охоплює інформаційно-управляючі та комунікаційні технології і системи, сучасну елементну базу, програмне забезпечення для створення централізованої мережі, що дає можливість виконувати дистанційне керування електричними пристроями будівлі, контролювати параметри в будь-якій точці приміщення та їх моніторинг для забезпечення точного й надійного підтримання контрольованих параметрів з урахуванням їхніх зовнішніх і внутрішніх змін.

Ця система, яка розроблена й виготовлена на базі «розумних» пристроїв, повністю в автоматичному режимі керує всіма типами виконавчих механізмів спроектованої здобувачами вищої освіти будівлі із суворим лімітованим дотриманням усіх показників, що покращує функціональні можливості електрообладнання, підвищує надійність роботи, забезпечує необхідну точність контрольованих параметрів.

За результатами досліджень встановлено, що використання smart-технологій і запропонованого алгоритму роботи електричного обладнання дає змогу знизити використання теплової та електричної енергії, налагодити роботу всіх пристроїв так, щоб вони працювали злагоджено та взаємопов'язано, що приводить до розширення меж діагностування, мінімізації втрат і до надійності. Таку розроблену й виготовлену автоматичну систему можна використовувати не лише для вироблення навичок майбутніми фахівцями у сфері проєктування, а й для впровадження у практику, тобто автоматизації як у житлових будинках (для створення комфортних умов проживання людей), так і у виробничих приміщеннях.

Ключові слова: smart-технології, розумні пристрої, система, платформа, автоматизація.

Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A. Features of smart technologies on the example of automation of a residential building

The article discusses the features of smart technologies in the automation of a residential building in order to improve the living standards of people. On the example of laboratory work on the "Virtual control devices" discipline, a control system for electrical appliances in a residential building was developed and manufactured. On the basis of this system, applicants for higher education carry out automation of a simulated residential or industrial premises, which contributes to an increase in the intellectual development of future specialists and the implementation of projects for their training in the design of electrification, automation and power supply systems based on modern smart technologies, the ability to develop and implement applications for accurate functioning of various devices.

The developed system includes information and control and communication technologies and systems, modern element base, software for creating a centralized network that allows remote control of electrical devices of the building, control parameters anywhere in the room and their monitoring to ensure accurate and reliable maintenance of controlled parameters taking into account their external and internal changes.

This system, which is designed and manufactured on the basis of "smart" devices, fully automatically controls all types of actuators designed by higher education building with strict limited compliance with all indicators, which improves the functionality of electrical equipment, increases reliability, provides the necessary accuracy of controlled parameters.

According to the research results, it was found that the use of smart technologies and the proposed algorithm for the operation of electrical equipment allows to reduce the use of thermal and electrical energy, to adjust the operation of all devices so that they work harmoniously and interconnected, which leads to the expansion of the boundaries of self-diagnosis, minimization of losses and reliability. Such a developed and manufactured automatic system can be used not only to provide skills to future specialists in the field of design, but also to be introduced into practice, that is, to automate not only residential buildings to create comfortable living conditions for people, but also production facilities.

Key words: smart technologies, smart devices, system, platform, automation.

Постановка проблеми. Останнім часом smart-технології набули дуже великої популярності. Їх у широких межах стали використовувати в усіх сферах діяльності, а також у побуті для підвищення рівня й комфортності життя людей.

Завдяки реалізації сучасних технологій створюється можливість моніторити стан електропристроїв та установок і дистанційно керувати їх роботою за допомогою персонального комп'ютера чи смартфона та різноманітних датчиків.

На сьогодні ринки прискореними темпами заповнюються різноманітними розумними пристроями. Завдяки цьому під час проєктування сучасних житлових і промислових будівель передбачається застосування цих інтелектуальних пристроїв, що сприяє вирішенню найскладніших завдань у процесі їх автоматизації. Однак зі збільшенням кількості пристроїв налагодження взаємодії між ними стає дедалі складнішим [1, с. 30].

Тому чітке розуміння особливостей smart-технологій надає проєктувальнику житлового будинку здатність охопити інформаційно-управляючі та комунікаційні технології і системи, програмне забезпечення, що сприятиме підтриманню контрольованих параметрів з урахуванням їхніх зовнішніх і внутрішніх змін та виконанню дистанційного керування електричними пристроями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання дистанційного керування об'єктами вже тривалий час розглядається науковцями та інженерами. Використання сучасних smart-технологій, що реалізують інформаційні та комунікаційні технології, сприяло досягненню високих вершин автоматизації. Саме на цьому наголошується в роботах А.О. Касича.

Аналіз останніх наукових публікацій [2; 3; 5], а також власні дослідження показали, що за рахунок smart-технологій можна добитися точної і надійної роботи електроустановок, що притаманно всім сферам життєдіяльності суспільства через формування сучасної системи керування та програмування.

Питання дистанційного керування вже трансформовані у проєктах «розумного міста», «розумного будинку», проте кожен науковець бачить вирішення цього завдання по-своєму. Наприклад, Я.М. Третяк досліджує «розумні» міста та будинки як галузі майбутнього [4]. Питання стратегічного управління інноваційним розвитком житлових будівель розглядають вітчизняні науковці, зокрема О.В. Полякова, І.О. Фурман, Р.М. Староверов, І.В. Гула, К.Л. Горященко та інші. Проте залишаються невирішеними ще дуже багато питань, особливо стосовно впровадження у практику розроблених проєктів.

Мета дослідження – розглянути особливості smart-технологій на прикладі автоматизації житлового будинку з метою набуття вмінь і навичок проєктування та програмування систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання, а також визначити концепції впровадження у практику розроблених проєктів.

Виклад основного матеріалу. За різних обставин виникає потреба в дистанційному керуванні електроустановками житлових і промислових будівель. Однак модернізація таких споруд вимагає дуже великих затрат, що не завжди можна собі дозволити. Тому з огляду на зв'язування в єдиний комплекс різноманітного «розумного» обладнання та інженерних підсистем житла [5, с. 79] на прикладі лабораторної роботи з дисципліни «Віртуальні управляючі пристрої» було розроблено та виготовлено систему керування електропристроями житлового будинку. Така система, по-перше, дасть можливість майбутнім спеціалістам набути вмінь і навичок у сферах проєктування й програмування; по-друге, навчить упроваджувати smart-технології у практику, а отже, наблизить виробництво й побут людей до світових стандартів.

Підготовка висококваліфікованих спеціалістів дасть їм змогу конкурувати на ринку праці та виробляти продукцію, яка буде використовуватися не тільки в навчальному процесі, а й в інших сферах життєдіяльності. Застосування інноваційних технологій на практиці переведе країну на більш високий рівень розвитку. А це рушійна сила зростання економіки [6, с. 232], оскільки значне поширення сучасних технічних рішень підвищує ефективність використання ресурсів, забезпечує розвиток економічного потенціалу [7, с. 51], що своєю чергою приведе до підвищення рівня життя людей.

Щодо вирішення цього питання дуже багато компаній надають свої пропозиції, проте їхні послуги не лише дорого коштують, а й надаються на якийсь конкретний проєкт.

Варто зауважити, що комп'ютери, електронні карти, камери спостереження, GPS-навігатори стали повсякденними пристроями, без яких ми вже не уявляємо свого життя. Ці технології не просто роблять життя цікавішим, використання інтернет-доступу дає можливість на відстані керувати електричними пристроями будь-якої будівлі [8, с. 104]. Тобто smart-технології покликані звільнити людей від ручної праці, сформувані енергонезалежність та забезпечити комфортність життя людей. А також через те, що сучасне суспільство постійно прагне розвиватися й удосконалюватися, розроблена система передбачає можливість для кожного здобувача вищої освіти спроектувати свій індивідуальний проєкт, задатися конкретними вихідними даними та реалізувати його на практиці з огляду на низку особливостей конкретної будівлі.

Розроблена система складається з лабораторного стола, на якому розміщене обладнання, комп'ютера та смартфона.

Студенти можуть моделювати на комп'ютері або смартфоні різні приміщення, де умовно розміщують задане обладнання (рис. 1). Домашню автоматику добирають

покомпонентно, тобто вибирають лише ті функції розумного будинку, які справді потрібні користувачеві [9, с. 120], а також задають різні параметри контрольованих величин і проводять дослідження, змінюючи налаштування будинку.

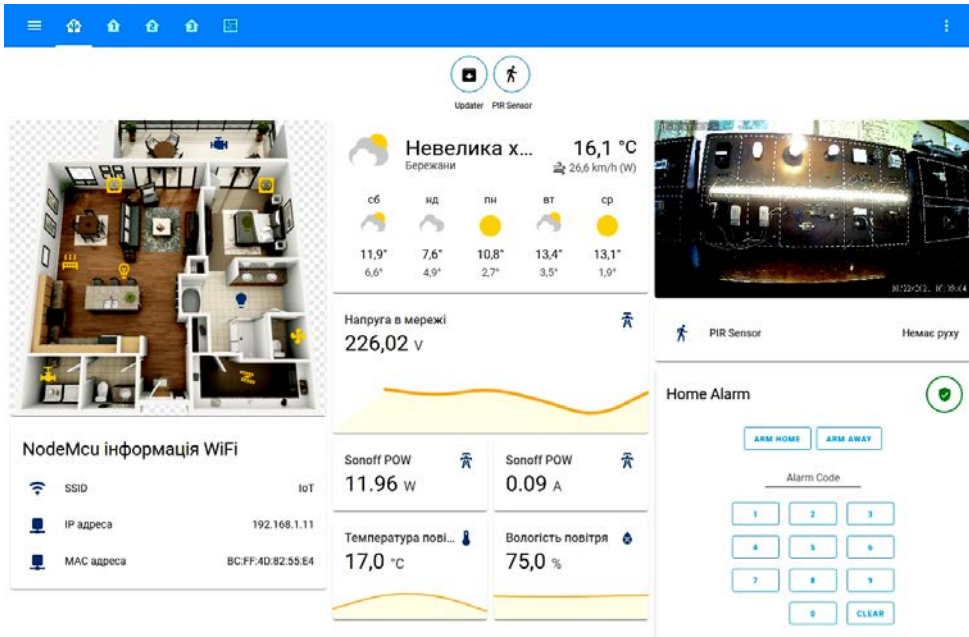


Рис. 1. Панель керування. Загальний вигляд установки та умовне розміщення пристроїв

Лабораторний стіл містить набір розумних пристроїв, а саме:

- реле Sonoff TH10, яке виконує роль WiFi розумного вимикача та призначене для керування будь-якими електроприладами (у цьому випадку електрокалорифера) з екрана комп'ютера / смартфона або за рахунок датчика температури та вологості повітря SI7021;

- пристрій Sonoff POW, який працює як WiFi-вимикач (реле) з вимірюванням споживаної потужності, напруги. Цей пристрій у реальному часі дає можливість упродовж 100 днів точно визначати витрати електроенергії. На екран комп'ютера чи смартфона можна вивести історію трафіку споживаного струму за весь час спостереження, поточну напругу та фактичну величину в режимі онлайн. Це реле контролює роботу напівпровідникової стрічки. Можна в межах дослідження підключати його до будь-якого електричного пристрою;

- реле Sonoff Basic RF, яке виконує роль WiFi – розумного вимикача, призначене для керування будь-якими електроприладами (у цьому випадку електровентилятора) з екрана комп'ютера або смартфона; також цим реле можна керувати за допомогою RF-пульта;

- багатофункціональну мікропроцесорну плату NodeMcu з одноканальним електромагнітним реле Tongling. Це реле контролює роботу електромагнітного клапана. Можна було використати реле Sonoff Basic, однак воно, по-перше, порівняно дороге, а по-друге, виконує небагато функцій. Натомість саморобне смарт-реле, що виконане на мікропроцесорній платі NodeMcu, є набагато дешевшим,

а якщо використати 8-канальний релейний модуль, то можна добирати декілька установок та одночасно ними керувати як у реальному часі, так і за допомогою датчиків. До цього пристрою додано датчик руху. Також у коді прописано функцію, якої немає в готових реле (наприклад, виробника Sonoff), – підключення до резервної WiFi-точки в разі недоступності головної WiFi-мережі. Коли доступні дві WiFi-мережі, то реле (NodeMcu) підключається до тієї мережі, яка має найвищий сигнал. Можна прописати не дві WiFi-мережі, а більше, якщо є така можливість. Оскільки саморобне смарт-реле підключається до власного серверу смарт-системи, швидкодія і надійність смарт-реле вищі порівняно з готовими рішеннями, оскільки власним сервером легше керувати, ніж китайським від Sonoff;

– розумний 3-полюсний автоматичний вимикач WiFi HOCH ZJSB9-80Z, який дає змогу на віддалі керувати ввімкненням або вимкненням електропристроїв (у цьому випадку електродвигуна), керувати ними та контролювати їх стан, електричні характеристики мережі за допомогою мобільного пристрою (смартфона, планшета). Цей пристрій має механічний електровимикач. Наявність саме механічного вимикача робить прилад більш надійним і довговічним, ніж прилади, які мають електромагнітні реле, що слугує вимикачем. Прилад має захист від перевантаження, перенапруги та перевантаження струмом;

– розумну розетку Socket S26, яка дає змогу керувати пристроями на відстані. Система підключається до мобільного телефону через локальну WiFi-мережу, після чого можна керувати розеткою з будь-якої точки, де є інтернет-підключення. До цієї розетки підключається відеокамера Vstarcam G43S, яка веде відеоспостереження у приміщенні;

– бездротовий WiFi керований електричний патрон Sonoff Slampher для ламп із різьбовим цоколем E27, який передає дані у хмарну платформу через WiFi-маршрутизатор, що дає можливість на відстані керувати роботою лампи, яка під'єднана до мережі через цей смарт-патрон, або групою таких ламп за допомогою додатку eWeLink, що може бути встановлений на комп'ютері та смартфоні. Також можна налаштувати роботу пристроїв згідно з графіком, вмикати зворотний відлік часу на заплановане ввімкнення й вимкнення або реагувати на рух, що підвищує комфортність людей;

– розумну WiFi світлодіодну лампу Sonoff B05-B-A60 RGB, яка розширює можливості сучасного дизайну інтер'єру. Через додаток eWeLink або в ручному режимі за допомогою панелі керування можна задати відповідну освітленість і кольорову гаму;

– сенсорний вимикач Sonoff TX. Це смарт-пристрій, який порівняно зі звичайними вимикачами може вмикати або вимикати освітлення у приміщенні дистанційно. Тобто за допомогою цього смарт-вимикача можна керувати освітленням у приміщенні віддалено через додаток eWeLink та налаштувати таймери, зворотний відлік на вмикання й вимикання. Цей вимикач є сенсорним, освітлення можна вмикати та вимикати навіть мокрими руками.

Керування «розумними» пристроями від Sonoff, окрім одноканального реле Tongling, та автоматичним вимикачем HOCH виконується через завантажений на смартфон додаток eWeLink або з комп'ютера за допомогою вебверсії eWeLink через браузер, наприклад Google Chrome. Однак функції, доступні від eWeLink, не дають можливість створити зручну систему розумного будинку. Тому було вибрано та встановлено систему Home Assistant, яка є сервером для керування практично всіма доступними смарт-пристроями.

Також до цієї системи можна підключати такі пристрої:

– однофазний або трифазний розумний лічильник, який буде вимірювати використану електроенергію;

– датчики вологості, тиску, освітленості, диму, витоку води, CO₂, TDS, pH та будь-які аналогові пристрої, які будуть відстежувати показники в декількох точках. Відповідно до датчиків можна налаштувати різні сценарії, наприклад: клімат-контроль у приміщенні за датчиками температури, вологості, якості повітря; освітлення за датчиком освітленості та часу; сигналізацію за датчиками руху, відкривання вікон чи дверей; перекриття газу й води за датчиками газу та води тощо.

Керування повністю всіма високотехнологічними пристроями [5] виконується офіційним додатком Home Assistant. Home Assistant – це платформа автоматизації будівель із відкритим кодом, яка зосереджена на конфіденційності та локальному контролі. Ця система використовує синтаксис YAML для конфігурації, який є справді потужним, дає можливість виражати складні конфігурації.

Панель керування можна налаштовувати на свій смак (від розміру плиток до значків і кольорів), оскільки варіантів дизайну дуже багато. Панелі керування можна створювати під кожний пристрій (смартфон, планшет) для відображення з особливим дизайном. У кожній панелі керування можна створити підсторінки.

Assistant підтримує понад 1000 сервісів та апаратних засобів, серед яких – Sonos, Nest, Philips Hue, WeMo, Ikea, Arlo, Ecobee, Dyson, Xiaomi та August. Програма працює як концентратор для пристроїв і дає змогу контролювати все, чим можна керувати з одного місця. При цьому можна запрограмувати логічні послідовності виконання конкретних завдань. Ця програма може налаштовувати температуру у приміщенні незадовго до приходу господарів та засвітити лампи, тобто виконувати всі запрограмовані процеси (рис. 2).

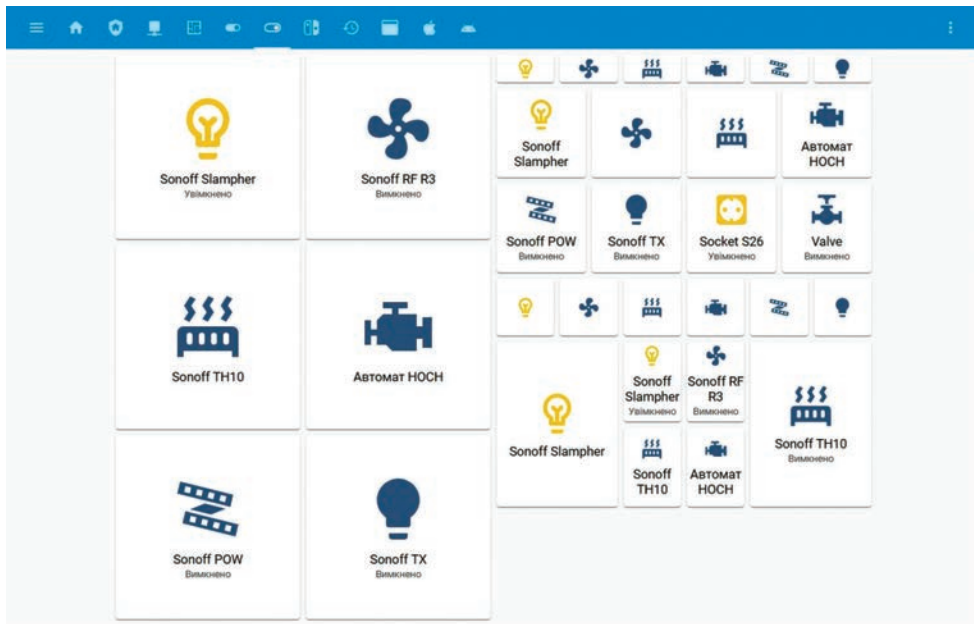


Рис. 2. Панель керування електричними пристроями будівлі

Усі показники, що контролюються, відображаються на екрані комп'ютера (рис. 2), або смартфона (рис. 3). Для кожного пристрою можна прописувати свої сценарії, тобто задавати програми ввімкнення й вимкнення, час роботи,

потужність; можна задавати декілька сюжетів режимів роботи (наприклад, збільшувати або зменшувати яскравість світла залежно від необхідності, вмикати чи вимикати його відповідно до датчика руху або іншого датчика, налаштувати роботу згідно з графіком). Таким чином, можна досягти економії електроенергії майже до 50%.

Оскільки багато людей користуються месенджером Telegram, для цього месенджера було розроблено Telegram-бот на GitHub для керування системою розумного будинку. GitHub – це сайт / платформа, де розробники програмного забезпечення (програмісти) розміщують коди програм.

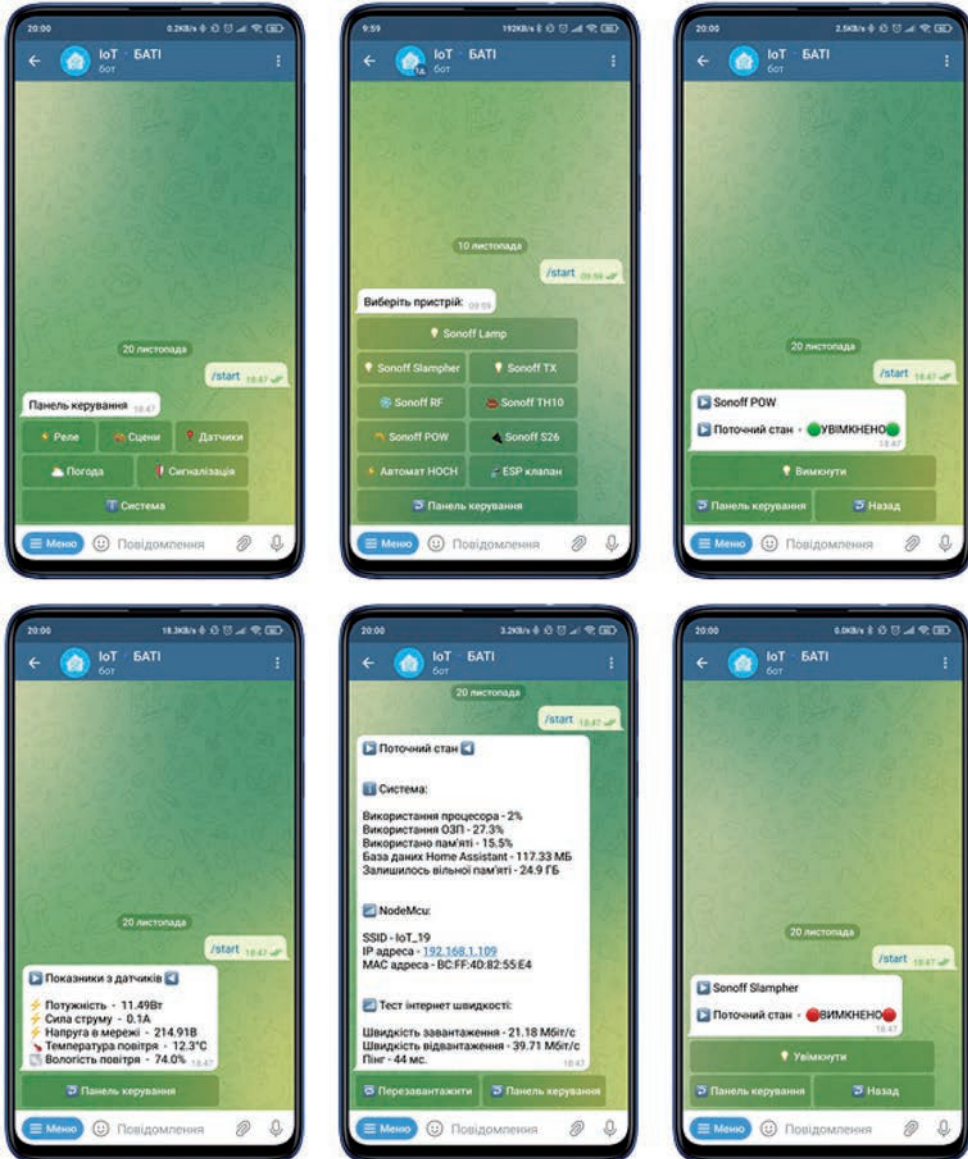


Рис. 3. Виконання керування системою та пристроями через Telegram-бота

На вебсервісі GitHub магістр Ярослав Леськів створив власну сторінку, де розмістив код Telegram-бота. Здобувачі вищої освіти та інші користувачі, які цікавляться розробкою автоматичної системи, можуть переглянути код за посиланням <https://github.com/yaroslav-leskiv/Telegram-BOT/blob/main/code.yaml>.

За допомогою цього бота можна керувати приладами, переглядати показники з датчиків, вмикати запрограмовані сцени, переглядати погоду, керувати сигналізацією, спостерігати дані системи та за потреби перезавантажувати віддалено сервер. Тобто можна спростити завдання комунікації з користувачами шляхом створення для них розумного помічника. Боти розуміють текстові команди та можуть звертатися до API вебсайту, сервісу або бути самостійним продуктом з унікальними послугами.

Також було створено вебсайт, на якому можна ознайомитися з характеристиками інтелектуальних пристроїв та придбати їх (за посиланням <https://sites.google.com/view/smart-devices-new/>).

Унаслідок аналізу вартості придбаних «розумних» пристроїв та порівняння із цінами, які виставляють за свої проекти фірми, можна сказати, що розроблена автоматична система майже в 5 разів дешевша. Безпосередньо розробка індивідуальних проєктів сприяє підвищенню інтелектуального розвитку майбутніх спеціалістів та набуттю навичок їх реалізації на практиці. Крім того, здобувачі вищої освіти мають можливість розробляти на базі сучасних smart-технологій проекти систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання, а також програми для точного функціонування різних пристроїв.

Основні особливості розробленої автоматичної системи автоматизації житлового будинку на базі smart-технологій полягають у тому, що всі пристрої працюють злагоджено, взаємопов'язано, а тому створюється можливість здійснювати такі дії:

- ефективно економити енергоресурси;
- контролювати стан побутових пристроїв;
- підтримувати мікрокліматичні параметри у приміщенні;
- за заданою програмою або в реальному часі керувати роботою електропристроїв;
- забезпечити надійну охорону;
- задавати режими роботи електроустановок із будь-якого місця;
- регулювати потужність пристроїв, тобто створювати економний режим;
- одночасно виконувати керування роботою всіх електропристроїв;
- змінювати параметри в режимі реального часу;
- розширювати межі самодіагностування;
- надавати повномасштабну інформацію про роботу всіх пристроїв.

Висновки. Таким чином, розроблена й виготовлена автоматична система, яка об'єднує всі енергоресурси, що пов'язані між собою та інтегровані в єдину мережу, в умовах реального часу дає змогу створити енергоефективну базу автоматизації роботи електропристроїв для функціонування не лише в житлових будинках, а й на виробництві. Злагоджена робота електропристроїв в умовах прописаного сценарію заощаджує кошти за витрачену електроенергію в розмірі понад 30%.

Створена система є значно дешевшою, ніж аналогічні, які пропонують різні фірми-виробники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Глибовець А.М., Моголівський В.О. Аналіз систем підтримки розумного будинку. *Control systems and computers*. 2019. № 5(283). С. 30–37. URL: <https://doi.org/10.15407/csc.2019.05.029>.

2. Дужак І.О. Розумний будинок. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2013. № 13(13–14). С. 31–33. URL: <https://doi.org/10.15673/2312-3125.13-14/2010.32920>.
3. Кадырова Л.Ш. «Умный дом»: идеология или технология. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013. № 5-3(12). С. 86–87. URL: <https://research-journal.org/arch/umnyj-dom-ideologiya-ili-technologiya/>.
4. Чичкало-Кондрацька І.Б., Буряк А.А., Кондрацька Д.С. Особливості створення та перспективи розвитку smart cities у країнах світу. *Електронний журнал «Ефективна економіка»*. 2020. № 8. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8096>.
5. Фурман І.О., Староверов Р.М., Мельський Д.О. Огляд можливостей «розумного будинку» для покращання побутових умов та зменшення витрат на утримання домогосподарств. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2014. № 2. С. 79–80.
6. Момот Т.В., Мураєв Є.В. Компаративний аналіз зарубіжних практик розвитку розумних міст та можливості їх імплементації в Україні. *Електронний науково-практичний журнал «Інфраструктура ринку»*. 2020. Вип. 42. С. 232–237. URL: http://market-infr.od.ua/journals/2020/42_2020_ukr/41.pdf.
7. Касич А.О., Федоряк Р.М., Собяніна А.П. Інноваційна технологія «Smart city» як механізм покращення рівня життя в сучасному місті. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*. 2017. Вип. 27. Ч. 1. С. 50–54. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/8985>.
8. Каталог товарів. Розумний будинок і IoT. URL: https://www.mojo.ua/ua/gadgets/umnij_dom_i_iot/.
9. Верусь В.С., Кондратюк О.І., Ляшко С.С. Розумний будинок або автоматизована система керування житлом. *Студентський вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2019. Вип. 1(11). С. 119–122. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/15664>.

REFERENCES:

1. Hlybovets, A.M., Moholivskiy, V.O. (2019). Analiz system pidtrymky rozumnoho budynku [Analysis of systems for maintaining a Smart Home]. *Control Systems and Computers*, no. 5(283), pp. 30–37. Retrieved from: <https://doi.org/10.15407/csc.2019.05.029> [in Ukrainian].
2. Duzhak, I.O. (2013). Rozumnyy budynok [Smart House]. *Automation Technological and Business Processes*, no. 13(13–14), pp. 31–33. Retrieved from: <https://doi.org/10.15673/2312-3125.13-14/2010.32920> [in Ukrainian].
3. Kadyrova, L.Sh. (2013). “Umnyy dom”: ideologiya ili tekhnologiya [“Smart Home”: ideology or technology]. *International research journal*, no. 5-3(12), pp. 86–87. Retrieved from: <https://research-journal.org/arch/umnyj-dom-ideologiya-ili-technologiya/> [in Russian].
4. Chychkalo-Kondratska, I.B., Buriak, A.A., Kondratska, D.S. (2020). Osoblyvosti stvorennya ta perspektyvy rozvytku smart cities u krayinakh svitu [Features of creation and prospects of development of Smart Cities in the countries of the world]. *Efektivna ekonomika (electronic journal)*, vol. 8. Retrieved from: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8096> [in Ukrainian].
5. Furman, I.O., Staroverov, R.M., Melsky, D.O. (2014). Ohlyad mozhlyvostey “rozumnoho budynku” dlya pokrashchannya pobutovykh umov ta zmeshennya vytrat na utrymannya domohospodarstv [Overview “Smart Home” for improving the living conditions and lower costs on the content of households]. *Energy and computer-integrated technologies in agriculture*, no. 2(2), pp. 79–80 [in Ukrainian].
6. Momot, T.V., Murayev, Ye.V. (2020). Komparatyvnyy analiz zarubizhnykh praktyk rozvytku rozumnykh mist ta mozhlyvosti yikh implementatsiyi v Ukraini [Comparative analysis of foreign practices for development of Smart Cities and the

possibilities of their implementation in Ukraine]. *Market Infrastructure (electronic scientific and practical journal)*, vol. 42, pp. 232–237. Retrieved from: http://market-infr.od.ua/journals/2020/42_2020_ukr/41.pdf [in Ukrainian].

7. Kasych, A.O., Fedoryak, R.M., Sobyana, A.P. (2017). Innovatsiyna tekhnolohiya “Smart city” yak mekhanizm pokrashchennya rivnya zhyttya v suchasnomu misti. [Innovative technology “Smart city” as a mechanism of improving the level of life in the modern city]. *Scientific Bulletin of the International Humanities University. Series “Economics and Management”*, vol. 27(1), pp. 50–54. Retrieved from: <https://er.knutt.edu.ua/handle/123456789/8985> [in Ukrainian].

8. Kataloh tovariv. Rozumnyy budynok i IoT [Product catalog. Smart Home and IoT]. Retrieved from: https://www.moyo.ua/ua/gadgets/umnij_dom_i_iot/ [in Ukrainian].

9. Verus, V.S., Kondratyuk, O.I., Lyashko, S.S. (2019). Rozumnyy budynok abo avtomatyzovana systema keruvannya zhytlom [Smart Home or automated housing management system]. *Student Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Sciences*, vol. 1(11), pp. 119–122. Retrieved from: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/15664> [in Ukrainian].

UDC 004.662.99-519.6

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.3>

THERMAL REGIME CONTROL OF THERMOELECTRIC COOLERS IN AN UNIFORM TEMPERATURE FIELD

Zhuravlov Yu.I. – Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Materials Technology and Ship Repair
National University “Odessa Maritime Academy”
ORCID ID: 0000-0001-7342-1031

An analysis of the control model for a thermoelectric device for providing thermal modes of electronic equipment is presented, the reliability indicators of which are significantly determined by the temperature of the elements. Model studies were carried out for conditions of a non-uniform temperature field in the ranges of typical temperature drops, current operating modes and dissipation power. The analysis was carried out for various ratios of height to cross-sectional area of thermoelectric element legs. The advantage of distributed active thermoelectric cooling of radio-electronic systems with spatially spaced heat-loaded elements in comparison with general cooling is substantiated. The possibility of optimal control of the thermal regime of a complex of thermoelectric coolers with a series electrical connection at different cooling levels and thermal load is considered. The main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics of the coolers have been determined. The current modes in the construction of the complex are analyzed taking into account the energy, weight and size and reliability characteristics. A comparative analysis of the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics of a complex of thermoelectric coolers at different cooling levels, a given unification of the geometry of thermoelement legs and current operating modes is carried out. The research results have shown the possibility of controlling the thermal regime of the complex of thermoelectric coolers by choosing the thermal regime of operation, taking into account the weight of each of the limiting factors in terms of weight and size, energy and dynamic characteristics. When choosing the current modes, the mutual influence of each of the limiting factors is taken into account, changing which, when designing a system for ensuring thermal modes, it is possible to choose compromise modes of operation.

Key words: cooler control, dynamics and failure rate, current modes, temperature difference, thermoelement branches.

Журавльов Ю.І. Управління тепловим режимом термоелектричних охолоджувачів у нерівномірному полі температур

У статті представлено аналіз моделі управління термоелектричним пристроєм забезпечення теплових режимів радіоелектронної апаратури, показники надійності якої суттєво визначаються температурою елементів. Модельні дослідження проведено для умов неоднорідного температурного поля в діапазонах типових перепадів температур, струмових режимів роботи та потужності розсіяння. Аналіз проведено для різних відношень висоти до площі перетину гілок термоелектричних елементів. Розкрито перевагу розподіленого активного термоелектричного охолодження радіоелектронних систем із просторово рознесеними теплонавантаженими елементами порівняно із загальним охолодженням. Розглянуто можливість оптимального управління тепловим режимом комплексу термоелектричних охолоджувачів із послідовним електричним з'єднанням за різного рівня охолодження й теплового навантаження. Визначено основні параметри, показники надійності та динамічні характеристики охолоджувачів. Проаналізовано струмові режими у процесі побудови комплексу з урахуванням енергетичних, масогабаритних характеристик і характеристик надійності. Проведено порівняльний аналіз основних параметрів, показників надійності та динамічних характеристик комплексу термоелектричних охолоджувачів за різного рівня охолодження, заданої уніфікації геометрії гілок термоелементів і струмових режимів роботи. Результати досліджень показали можливість управління тепловим режимом комплексу термоелектричних охолоджувачів за рахунок вибору теплового режиму роботи з урахуванням значущості кожного з обмежувальних факторів за масогабаритними, енергетичними й динамічними характеристиками. У процесі вибору струмових режимів урахувано взаємний вплив кожного з обмежувальних факторів, за допомогою зміни яких під час проєктування системи забезпечення теплових режимів можна вибрати компромісні режими роботи.

Ключові слова: управління охолоджувачами, динаміка й інтенсивність відмов, струмові режими, перепад температур, гілки термоелементів.

Introduction. Systems for ensuring thermal conditions are a necessary means of functioning of electronic equipment, the reliability of the element base of which depends significantly on temperature. For systems with inhomogeneous heat release of elements, including semiconductor lasers, processors, ultrasonic emitters, receivers of intense radiation, thermoelectric coolers are promising. Thermoelectric device (TEC) allows you to control the amount of heat flow by simply changing the magnitude of the operating current. Therefore, to ensure the required thermal regime of a number of dispersed heat-dependent and heat-loaded elements, various designs of TEC complexes can be used. This approach is designed to achieve different levels of cooling T_0 for a given heat load Q_0 , which gives an energy gain over the overall cooling of the blocks.

Literature review. Since thermoelectric coolers are designed to increase the reliability of heat-loaded elements, they are subject to increased reliability requirements [1; 2]. The reliability indices of TEC depend on the structural organization [3; 4], design features [5; 6], the efficiency of thermoelectric materials [7; 8], manufacturing technology [9]. However, the presented studies are aimed at static modes of operation of thermoelectric coolers and do not take into account the dynamics of the processes. Indicators of dynamics and reliability are among the most important characteristics of control; they are in contradiction, an increase in the rate of temperature drop leads to cracking of the junction of inhomogeneous materials of the cooler [10]. The problem is aggravated by the fact that when a thermoelectric cooler is included in the feedback loop of the control system, an increase in the dynamic characteristics of the TEC is required, which decreases the reliability indicators [11]. The interrelation of the parameters of a thermoelectric cooler is a control problem [12], therefore, the issues of increasing the reliability indicators and the associated dynamic characteristics were considered in detail in [13; 14]. The issues of optimization of the control of the structure of thermoelectric coolers were practically not considered and were limited to a stationary mode on one heat-loaded element. The system of distributed sources of heat release of modern electronic equipment requires an economical system for providing thermal modes of onboard equipment, since the overall cooling of the unit is focused on the maximum loaded element. The relevance of the development of a system for ensuring thermal conditions, the energy of which adapts to inhomogeneous spatially distributed heat sources, is obvious.

The purpose and objectives of the study. The aim of the work is to create a structure of a thermoelectric system to provide thermal modes of distributed heat-loaded electronic elements of equipment by controlling the current modes of coolers.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- 1) to develop a model of functioning of distributed thermoelectric coolers, which provides control of the time to reach the steady state and reliability indicators;
- 2) analyze the model in standard current modes of operation and temperature drops to clarify the compromise conditions of operation.

Thermoelectric cooler model. A significant part of the energy consumed by radio electronic equipment inevitably turns into heat, sometimes causing unacceptable overheating of the elements. One of the most acceptable ways to ensure the thermal regime of elements and components of radio electronic equipment is thermoelectric, as the most effective in a wide range of operating temperatures from 140 to 350K [13]. The thermoelectric device allows you to control the magnitude of the heat flux by simply changing the magnitude of the operating current. Therefore, to ensure the required thermal regime of a number of dispersed heat-dependent and heat-loaded elements, various designs of TEC complexes can be used. To ensure a different level of cooling T_0 at a given heat load Q_0 , consider the series electrical connection

of the TEC in the complex. To calculate the main parameters, reliability indicators, dynamics of functioning of the complex of thermoelectric coolers, we use the following relationships [13].

The number of thermoelements n of a single-stage TEC can be determined from the ratio:

$$n = \frac{Q_0}{I_{\max K}^2 R_K (2B_K - B_K^2 - \Theta)} \quad (1),$$

where:

Q_0 is the value of the heat load, or the power of the heat release of the cooling object, W;

$I_{\max K} = \frac{e_K T_0}{R_K}$ – maximum operating current, A;

e_K – average value of thermoEMF coefficient of thermoelement leg at the end of the cooling process, B/K;

$R_K = \frac{l}{\bar{\sigma}_K S}$ – electrical resistance of the thermoelement leg at the end of the cooling process, Ohm;

l and S – respectively, the height l and cross-sectional area S of the thermoelement leg;

$\bar{\sigma}_K$ – average value of thermoelement branch electrical conductivity, S/cm;

T_0 – temperature of the heat-absorbing junction, K;

$B_K = \frac{I}{I_{\max K}}$ – relative operating current at the end of the cooling process;

I – working current value, A;

$\Theta = \frac{T - T_0}{\Delta T_{\max}}$ – relative temperature difference;

T – heat-generating junction temperature, K;

$\Delta T_{\max} = 0,5 \bar{Z} T_0^2$ – maximum temperature drop, K;

\bar{Z} – the average value of the efficiency of the initial thermoelectric materials in the module, 1/K.

The power consumption of the TEC W_K can be determined from the expression:

$$W_K = 2nI_{\max K}^2 R_K B_K (B_K + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0} \Theta) \quad (2)$$

Voltage drop U_K

$$U_K = \frac{W_K}{I} \quad (3)$$

The coefficient of performance E can be calculated using the formula:

$$E = \frac{Q_0}{W_K} \quad (4)$$

The relative value λ/λ_0 of the failure rate can be determined from the expression

$$\lambda/\lambda_0 = nB_K^2 (\Theta + C) \frac{(B_K + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0} \Theta)^2}{(1 + \frac{\Delta T_{\max}}{T_0} \Theta)^2} K_T \quad (5),$$

where $C = \frac{Q_0}{nI_{\max K}^2 R_K}$ is the relative heat load;

K_T – coefficient of lowered temperatures.

The probability of trouble-free operation P of the TEC can be determined from the expression:

$$P = \exp[-\lambda t] \quad (6)$$

where t is the assigned resource, hour.

The expression for determining the time of reaching the stationary mode of operation τ can be represented in the form [14]:

$$\tau = \frac{m_0 C_0 + \sum_i m_i C_i}{K \left(1 + 2B_K \frac{\Delta T_{\max}}{T_0} \right)} \ln \frac{\gamma B_H (2 - B_H)}{2B_K - B_K^2 - \Theta} \quad (7)$$

where $\gamma = \frac{I_{\max H}^2 R_H}{I_{\max K}^2 R_K}$;

$m_0 C_0$ – product of mass and heat capacity of the object of cooling;

$m_0 C_0 \rightarrow 0$ in the absence of a cooling object; $\bullet m_i C_i$ – the total value of the product of the heat capacity and the mass of the constituent structural and technological elements on the heat-absorbing junction of the module at a given l/S ;

R_H – electrical resistance of the thermoelement leg at the beginning of the cooling process, Ohm;

$B_H = \frac{I}{I_{\max H}}$ – relative operating current at the beginning of the cooling process ($\tau = 0$);

$I_{\max H} = \frac{e_H T}{R_H}$ – maximum operating current at the beginning of the cooling process, A.

Provided that the currents are equal at the beginning and at the end of the cooling process:

$$I = B_K I_{\max K} = B_H I_{\max H} \quad (8)$$

Analysis of the cooler control model. First, we will consider the possibility of optimal control of the thermal regime of the TEC complex with a series electrical connection for different temperature levels of cooling. Initial data: temperature T_0 from $T_0 = 295\text{K}$ to $T_0 = 250\text{K}$, heat load Q_0 from $Q_0 = 0.5\text{W}$ to $Q_0 = 15\text{W}$ when using constant geometry of the thermoelement leg (the ratio of the thermoelement height to the cross-sectional area $l/S = 40$). The selected unified value ($l/S = 40$) makes it possible to reduce the operating current of the complex in the range $I \leq I_{\max}$ for various operating modes.

We select one basic module out of six TECs of the complex with a cooling temperature $T_0 = 250\text{K}$ and a thermal load $Q_0 = 0.5\text{W}$. The calculation of the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics is carried out first for the $Q_{0\max}$ mode ($B = 1$) and we determine the value of the operating current $I = I_{\max}$. Since in the complex all six TECs are connected electrically in series, the value of the operating current remains constant $I = \text{const}$ for all TECs included in the complex. Next, consider the operation of the next TEC in the cooling mode $T_0 = 260\text{K}$ and heat load $Q_0 = 1.0\text{W}$. In this case, the relative operating current B_2 changes, since the condition must be met

$$B_1 I_{\max 1} \dots B_2 I_{\max 2} = B_1 I_{\max 1} = I.$$

So, we consistently consider the operation of all six TPPs included in the complex and determine the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics. Then we carry out calculations for other current operating modes of the base TEC and all six TECs included in the complex.

The calculation results of the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics of the six TECs included in the complex for various current operating modes of the basic TEC are shown in table 1.

Table 1

**Main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics
of the cooler complex at T=300K, I/s=40**

$Q_{\text{в}}^{\text{в}}$ W	$T_{\text{в}}^{\text{в}}$ K	n , pcs	θ	W , W	U , V	E	B_2	$R' \cdot 10^3$, Ohm	I_{max} A	τ , s	N , W, s	aF , W/K	λ/λ_0	$\lambda' \cdot 10^8$, 1/h	P
Mode $O_{\text{opt}} (B_2=1)$ – base module $I=1,22A$															
0,50	250	27	0,68	3,8	3,1	0,13	1,0	39,2	1,22	8,2	31,0	0,85	27,8	83,3	0,9917
1,0	260	31,6	0,50	4,4	3,6	0,23	0,97	40,0	1,26	5,3	23,2	1,10	28,8	86,5	0,9914
3,0	270	67,6	0,35	9,4	7,7	0,32	0,95	41,7	1,28	3,5	32,4	2,50	56,8	170	0,9830
5,0	280	87	0,21	11,9	9,8	0,42	0,93	42,6	1,31	2,0	24,1	3,4	66,0	198	0,980
10,0	290	142	0,10	19,3	15,8	0,52	0,91	43,5	1,35	0,90	17,6	5,9	98	294	0,971
15,0	295	195	0,048	26,0	21,3	0,58	0,896	44,0	1,36	0,44	11,4	8,2	125	375	0,9632
34,5	—	550	—	73,2	60,0	0,47	—	—	—	8,2	131	21,6	402	1207	0,8863
Mode $(n/I)_{\text{min}}$ – base module $I=1,0A, B_2=0,825$															
0,50	250	29,6	0,68	2,9	2,9	0,17	0,825	39,2	1,22	9,0	26,1	0,68	14,6	43,8	0,9956
1,0	260	34,4	0,50	3,3	3,3	0,30	0,79	40,0	1,26	5,3	17,5	0,86	14,3	43,0	0,9957
3,0	270	72,9	0,35	5,4	5,4	0,55	0,78	41,7	1,28	3,5	19,2	1,7	27,7	83,1	0,9917
5,0	280	93,6	0,21	8,7	8,7	0,57	0,76	42,6	1,31	2,3	20,0	2,7	31,6	94,7	0,9906
10,0	290	151	0,10	13,8	13,8	0,72	0,74	43,5	1,35	1,0	14,0	4,8	43,8	131	0,9870
15,0	295	209	0,048	18,8	18,8	0,80	0,735	44,0	1,36	0,50	9,3	6,8	57,4	172	0,9829
34,5	—	590	—	52,9	52,9	0,65	—	—	—	9,0	106	17,5	189	568	0,9448
Mode $(n/I)_{\text{opt}}$ – base module $I=0,86A, B_2=0,706$															
0,50	250	36,9	0,68	2,75	3,2	0,18	0,706	39,2	1,22	10,3	28,4	0,65	9,8	29,4	0,9971
1,0	260	39,5	0,50	2,87	3,3	0,35	0,683	40,0	1,26	6,8	19,5	0,77	8,9	26,8	0,9973
3,0	270	81,0	0,35	5,83	6,8	0,52	0,679	41,7	1,28	4,2	24,3	1,8	16,5	49,4	0,9951
5,0	280	102	0,213	7,1	8,3	0,70	0,656	42,6	1,31	2,4	17,3	2,4	18,1	54,2	0,9946
10,0	290	164	0,10	11,1	12,9	0,90	0,637	43,5	1,35	1,1	12,3	4,2	24,5	73,6	0,9927
15,0	295	226	0,048	15,1	17,5	1,0	0,632	44,0	1,36	0,54	8,1	6,2	31,8	95,3	0,9905
34,5	—	649	—	44,8	52,0	0,77	—	—	—	10,3	110	109,6	109,6	329	0,9676
Mode λ_{min} – base module $I=0,705A, B_2=0,578$															
0,50	250	60,3	0,68	3,15	4,5	0,16	0,578	39,2	1,22	11,0	34,7	0,73	7,1	21,3	0,9979
1,0	260	51,4	0,50	2,6	3,7	0,38	0,56	40,0	1,26	7,8	20,4	0,72	5,1	15,3	0,9985
3,0	270	98,1	0,35	4,88	6,9	0,615	0,55	41,7	1,28	4,9	23,7	1,6	8,5	25,6	0,9971
5,0	280	119,0	0,21	5,7	8,1	0,877	0,54	42,6	1,31	2,8	15,9	2,1	8,9	26,6	0,9973
10,0	290	188	0,10	8,7	12,3	1,15	0,522	43,5	1,35	1,3	10,9	3,7	11,5	34,6	0,9965
15,0	295	256	0,048	11,5	16,4	1,30	0,518	44,0	1,36	0,60	6,8	5,3	14,6	43,8	0,9956
34,5	—	773	—	36,5	51,9	0,95	—	—	—	11,0	112,4	14,2	55,7	167	0,9834

Figure 1 shows the dependence of the relative operating current $B_2=f(T_0)$ on the temperature of the heat-absorbing junction of various TECs included in the complex, with the corresponding heat load Q_0 , for different operating TEC modes of the basic TEC.

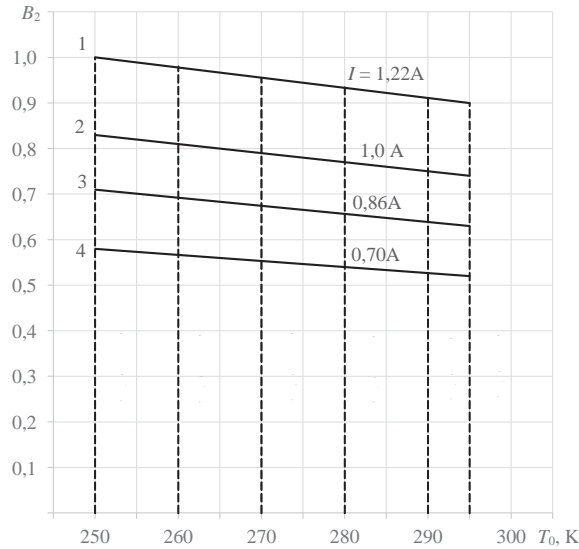


Fig. 1. Dependence of the relative operating current B_2 of TEC included in complex on the cooling temperature mode T_0 with the corresponding heat load Q_0 for various current operating modes B_1 of the basic TEC at $T=300K$, $l/S=40$: 1 – Q_{0max} mode, 2 – $(nI)_{min}$ mode, 3 – mode $(nI/\lambda_0\tau)_{min}$, 4 – λ_{min} mode

As the temperature rises in the cooling mode T_0 , the relative operating current B_2 decreases.

With an increase in the operating current of the I complex of the TEC:

- the number of thermoelements n decreases (fig. 2). The minimum number of thermoelements $n_{min} = 550$ pcs is provided in the Q_{0max} mode;
- the refrigerating coefficient E decreases (fig. 2). The maximum refrigerating coefficient $E_{max} = 0.95$ is provided in the λ_{min} mode;
- the voltage drop U increases (fig. 2). The minimum voltage drop $U_{min} = 51.9V$ is provided in the λ_{min} mode, and the maximum $U_{max} = 60V$ in the Q_{0max} mode;
- the time of reaching the stationary operating mode τ decreases (fig. 2). The minimum time for reaching the stationary operating mode $\tau_{min} = 8.2$ sec is provided in the Q_{0max} mode;
- the functional dependence of the amount of consumed energy $N = f(I)$ on the value of the operating current I has a minimum of $N_{min} = 106$ W'sec at $I = 1.0A$ in the $(nI)_{min}$ mode (fig. 3);
- the required heat dissipation capacity of the radiator αF increases (fig. 3).

The minimum heat dissipation capacity of the radiator $\alpha F_{min} = 14.2W/K$ is provided in the λ_{min} mode:

- the relative failure rate λ/λ_0 increases (fig. 4). The minimum relative failure rate $(\lambda/\lambda_0)_{min} = 55.7$ is provided in the λ_{min} mode;
- the probability of failure-free operation P decreases (fig. 4). The maximum probability of no-failure operation $P_{max} = 0.9834$ is provided in the λ_{min} mode.

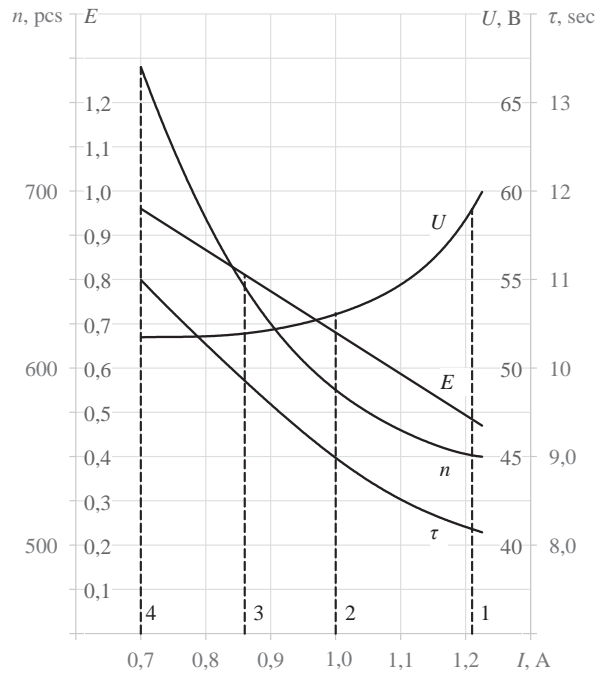


Fig. 2. Dependence of number of thermoelements n , cooling coefficient E , voltage drop U and the time to reach the stationary operating mode TEC complex on value of operating current I for different operating modes at $T = 300\text{K}$, $l/S = 40$: 1 – $Q_{0\max}$ mode, 2 – $(nI)_{\min}$ mode, 3 – mode $(nI/\lambda_0\tau)_{\min}$, 4 – λ_{\min} mode

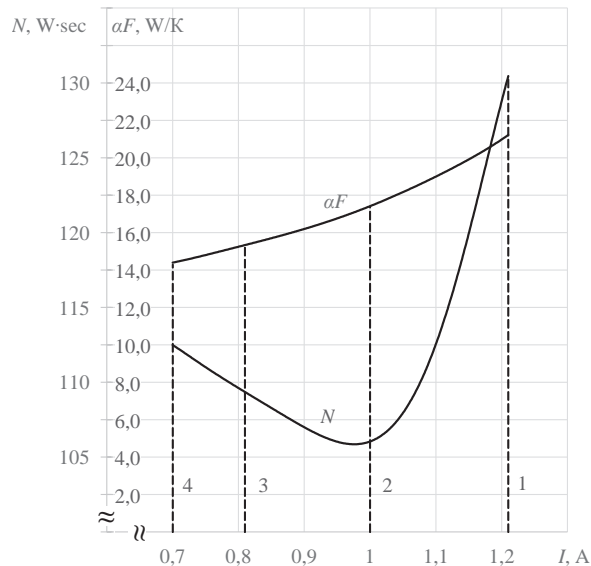


Fig. 3. Dependence of the amount of consumed energy N and heat removal capacity of radiator αF of TEC complex on the value of operating current I for different operating modes at $T=300\text{K}$, $l/S=40$: 1 – $Q_{0\max}$ mode, 2 – $(nI)_{\min}$ mode, 3 – mode $(nI/\lambda_0\tau)_{\min}$, 4 – λ_{\min} mode

Analysis of the results of the main parameters, indicators of reliability and dynamics of the functioning of the TEC complex shows that:

- the maximum refrigerating coefficient E_{max} is provided in the λ_{min} mode ($E_{max} = 0.95$);
- the minimum heat dissipation capacity of the radiator $(\alpha F)_{min}$ is also provided in the λ_{min} mode ($\alpha F_{min} = 14.2 \text{ W/K}$);
- the minimum relative failure rate $(\lambda/\lambda_0)_{min} = 55.7$ and the maximum probability of failure-free operation $P_{max} = 0.9834$ is provided in the λ_{min} mode.

Thus, the use of the current mode λ_{min} is the most appropriate when building a complex, taking into account the energy, weight and size and reliability characteristics. This ensures the minimum value of the operating current $I_{min} = 0.7 \text{ A}$ at $l/S = 40$.

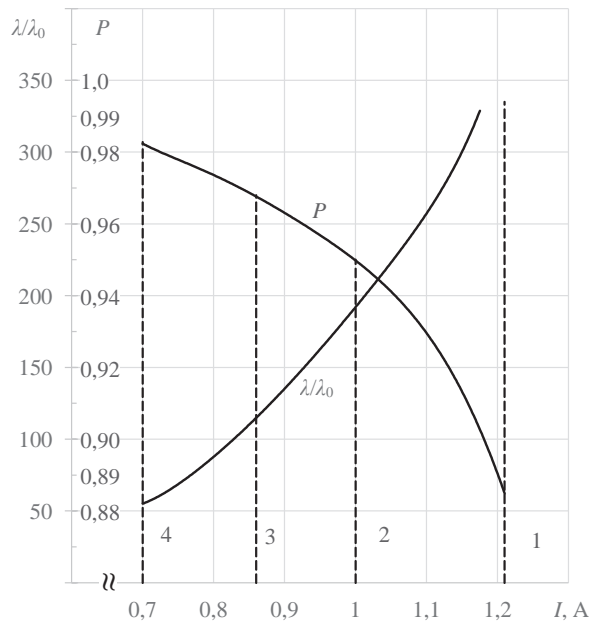


Fig. 4. Dependence of the relative failure rate λ/λ_0 and the probability of failure-free operation P of the TEC complex on the value of the operating current I for various operating modes at $T = 300 \text{ K}$, $l/S = 40$, $\lambda/\lambda_0 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ 1/hour}$, $t = 10^4 \text{ hour}$: 1 – Q_{0max} mode, 2 – $(nI)_{min}$ mode, 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{min}$, 4 – λ_{min} mode

At the same time, when using the geometry of thermoelement legs with $l/S = 40$, the required number of thermoelements is $n = 773$ units in the λ_{min} mode, which increases the cost of the complex. Therefore, for comparison, let us calculate the main parameters of the complex at $l/S = 4.5$. The results of calculating the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics are shown in table 2.

Fig. 5 shows the dependence of the relative operating current $B_2 = f(T_0)$ on the temperature of the heat-absorbing junction T_0 with the corresponding heat load Q_0 for various operating modes at $l/S = 4.5$.

With an increase in the temperature of the heat-absorbing junction T_0 , TECs included in the complex with the corresponding heat load Q_0 ; the relative operating current B_2 decreases for different operating modes and operating currents I of the base module.

Table 2

Main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics at $T = 300\text{K}$, $I/S = 4.5$

Q_0^0 W	T_0^0 K	n , pcs	Θ	W , W	U , V	E	B_2	$R^1 \cdot 10^3$, Ohm	I_{\max}^2 A	τ , s	N , W' s	aF_5 , W/K	λ/λ_0	$\lambda^1 \cdot 10^8$, 1/h	P
Mode Q_{omax} ($B=1$) – base module $I=10.9\text{A}$															
0,50	250	3,0	0,68	3,75	0,35	0,13	1,0	4,4	10,9	10,8	40,6	0,85	3,1	9,3	0,9991
1,0	260	3,5	0,50	4,3	0,40	0,23	0,97	4,5	11,2	7,2	31,0	1,10	3,2	9,2	0,99904
3,0	270	7,6	0,35	9,4	0,87	0,32	0,95	4,7	11,4	4,7	43,9	2,50	6,45	19,4	0,9981
5,0	280	9,8	0,21	12,0	1,1	0,42	0,93	4,8	11,7	2,7	32,6	3,4	7,4	22,3	0,9978
10,0	290	15,9	0,10	19,1	1,8	0,52	0,91	4,9	12,0	1,2	23,3	5,8	10,8	32,4	0,9967
15,0	295	22,0	0,048	26,3	2,4	0,57	0,90	4,95	12,1	0,60	15,8	8,3	14,3	42,8	0,9957
34,5	—	61,8	—	74,9	6,9	0,46	—	—	—	10,8	187	22,0	45,2	136	0,9865
Mode (nI) – base module $I=9,0\text{A}$															
0,50	250	3,3	0,68	2,9	0,32	0,17	0,825	4,41	10,9	11,8	34,3	0,68	1,6	4,9	0,99951
1,0	260	3,8	0,50	3,3	0,37	0,30	0,80	4,5	11,2	7,8	25,7	0,86	1,7	5,1	0,99949
3,0	270	8,1	0,35	7,0	0,78	0,43	0,79	4,7	11,4	5,0	35,4	2,0	3,2	9,6	0,99904
5,0	280	10,4	0,21	8,8	1,0	0,57	0,77	4,8	11,7	3,0	26,4	2,8	3,6	10,8	0,9989
10,0	290	17,0	0,10	14,0	1,6	0,71	0,75	4,9	12,0	1,3	18,7	4,8	5,1	15,4	0,9985
15,0	295	23,4	0,048	19,1	2,1	0,79	0,74	4,95	12,1	0,65	12,3	6,8	6,7	20,7	0,9980
34,5	—	66,0	—	55,1	6,2	0,63	—	—	—	11,8	15,3	18,0	21,7	65,1	0,9935
Mode $(nI/\lambda, \tau)$ – base module $I=7,7\text{A}$															
0,50	250	4,1	0,68	2,7	0,36	0,18	0,706	4,41	10,9	13,5	37,0	0,65	1,13	3,4	0,99966
1,0	260	4,4	0,50	2,87	0,37	0,35	0,686	4,5	11,2	8,7	25,1	0,77	1,0	3,0	0,99970
3,0	270	9,0	0,35	5,8	0,76	0,52	0,674	4,7	11,4	5,6	32,4	1,8	1,9	5,6	0,99944
5,0	280	11,4	0,21	7,2	0,93	0,70	0,656	4,8	11,7	3,2	23,0	2,4	2,0	6,0	0,99940
10,0	290	18,4	0,10	11,2	1,5	0,89	0,640	4,9	12,0	1,5	16,3	4,2	2,8	7,9	0,99920
15,0	295	25,3	0,048	15,2	2,0	1,0	0,635	4,95	12,1	0,70	10,6	6,0	3,9	11,5	0,99885
34,5	—	72,6	—	45,0	5,9	0,77	—	—	—	13,5	144	15,8	12,7	38,2	0,9962
Mode λ – base module $I=6,3\text{A}$															
0,50	250	6,7	0,68	3,1	0,50	0,16	0,578	4,41	10,9	17,6	55,0	0,73	0,79	2,4	0,99976
1,0	260	5,8	0,50	2,6	0,42	0,38	0,562	4,5	11,2	10,5	27,7	0,73	0,58	1,75	0,99983
3,0	270	10,9	0,35	5,2	0,83	0,57	0,55	4,7	11,4	6,5	34,1	1,6	0,96	2,9	0,9971
5,0	280	13,3	0,21	5,7	2,91	0,87	0,54	4,8	11,7	3,7	21,2	2,1	1,0	3,0	0,99970
10,0	290	21,0	0,10	8,7	1,4	1,15	0,524	4,9	12,0	1,7	14,5	3,7	1,3	3,9	0,99961
15,0	295	28,7	0,048	11,6	1,8	1,3	0,520	4,95	12,1	0,80	9,2	5,3	1,7	5,0	0,99950
34,5	—	86,4	—	36,9	4,1	0,95	—	—	—	17,6	162	14,2	6,3	19,0	0,9981

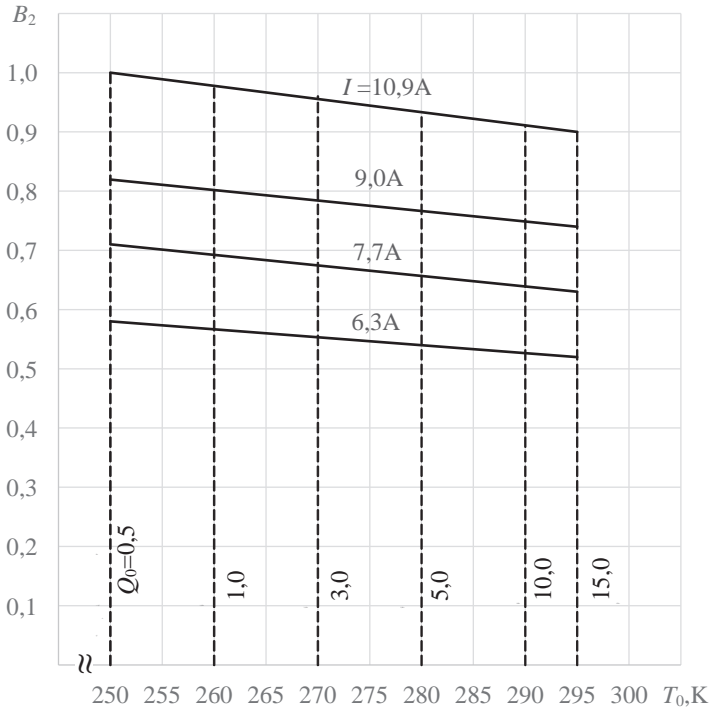


Fig. 5. Dependence of the relative operating current B_2 of the TECs included in the complex on the temperature regime of cooling T_0 with the corresponding thermal load Q_0 for different current modes of operation of the basic TEC (B_2) at $T=300K$, $l/S=4,5$:
 1 – Q_{0max} mode, 2 – $(nI)_{min}$ mode, 3 – mode $(nI/\lambda_0\tau)_{min}$, 4 – λ_{min} mode

With an increase in the value of the operating current I of the TEC complex:

- the number of thermoelements n decreases (fig. 6). The minimum number of thermoelements $n_{min} = 61.8$ pcs is provided in the Q_{0max} mode;
- the refrigerating coefficient E decreases (fig. 6). The maximum refrigerating coefficient $E_{max} = 0.95$ is provided in the λ_{min} mode;
- the voltage drop U increases (fig. 6). The maximum voltage drop $U_{max} = 6.9V$ is provided in the Q_{0max} mode;
- the time of reaching the stationary operating mode τ decreases (fig. 6). The minimum time to reach the stationary operating mode $\tau_{min} = 10.8$ sec is provided in the Q_{0max} mode;
- the functional dependence of the amount of consumed energy $N = f(I)$ on the value of the operating current I has a minimum at $I = 7.7A$, $N = 144$ W'sec in the mode $(nI/\lambda_0\tau)_{min}$ (fig. 7);
- the heat dissipation capacity of the radiator αF increases (fig. 7). The minimum heat dissipation capacity of the radiator $\alpha F_{min} = 14.21$ W/K is provided in the λ_{min} mode;
- the relative failure rate λ/λ_0 increases (fig. 8). The minimum relative failure rate $(\lambda/\lambda_0)_{min} = 6,3$ is provided in the λ_{min} mode;
- the probability of no-failure operation P decreases (fig. 8). The maximum probability of no-failure operation $P_{max} = 0.9981$ is provided in the λ_{min} mode.

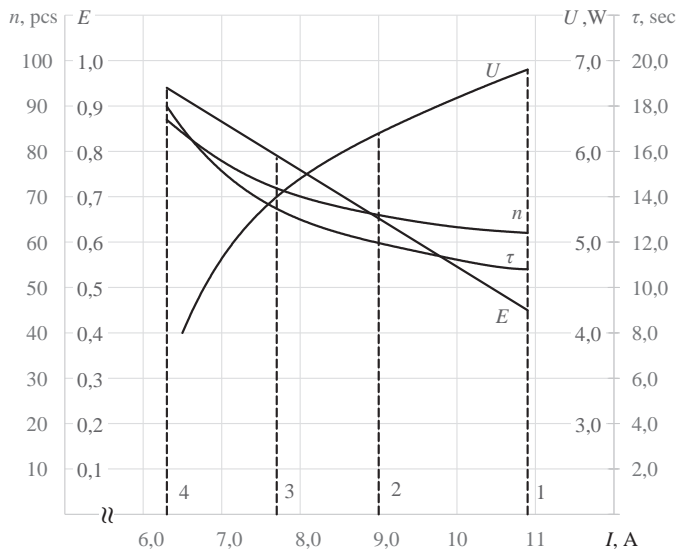


Fig. 6. Dependence of number of thermoelements n , cooling coefficient E , voltage drop U and time of setting to stationary operation mode of TEC complex on the value of operating current I for different operating modes at $T=300\text{K}$, $l/S=4,5$. = 300K : 1 – $Q_{0\text{max}}$ mode, 2 – $(nI)_{\text{min}}$ mode, 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\text{min}}$, 4 – λ_{min} mode

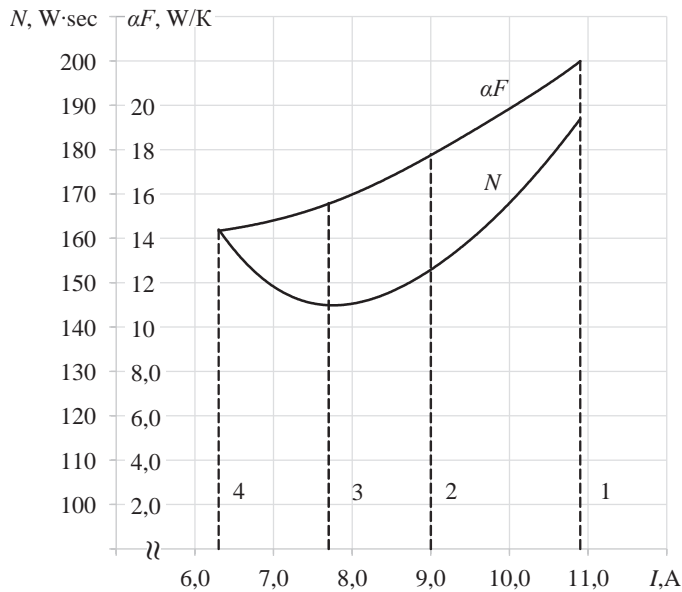


Fig. 7. Dependence of the amount of consumed energy – N and heat removal capacity of the radiator αF of the TECs complex on the value of the operating current I for different operating modes at $T=300\text{K}$, $l/S=4,5$: 1 – $Q_{0\text{max}}$ mode, 2 – $(nI)_{\text{min}}$ mode, 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{\text{min}}$, 4 – λ_{min} mode

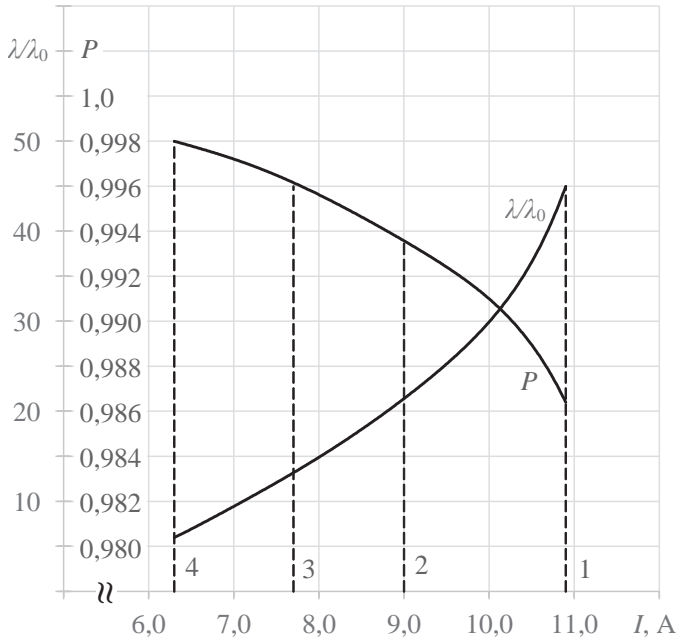


Fig. 8. Dependence of the relative failure rate λ/λ_0 and the probability of failure-free operation P of the TEC complex on the value of the operating current I for different operating modes at $T=300K$, $l/S=4,5$, $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/hour; $t=10^4$ hour: 1 – Q_{0max} mode, 2 – $(nI)_{min}$ mode, 3 – mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{min}$, 4 – λ_{min} mode

Comparative analysis of the results of calculations of the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics of the TEC complex for different geometry of thermoelement legs (ratio $l/S = 40$ and $l/S = 4.5$) showed that with a decrease in the ratio l/S :

– the number of thermoelements n of the complex decreases:

1. In the Q_{0max} mode at $l/S = 40$ from $n = 550$ pieces to $l/S = 4.5$ $n = 61.8$ pieces, i.e. 9 times,

2. In the $(nI)_{min}$ mode: from $n = 590$ pieces at $l/S = 40$ to $n = 66$ pieces at $l/S = 4.5$, i.e. 9 times,

3. In the mode $(nI\lambda/\lambda_0\tau)_{min}$: from $n = 649$ pieces at $l/S = 40$ to $n = 72.6$ pieces at $l/S = 4.5$, i.e. 9 times,

4. In the λ_{min} mode: from $n = 773$ pieces at $l/S = 40$ to $n = 86.4$ pieces at $l/S = 4.5$, i.e. 9 times;

– the relative intensity of failures λ/λ_0 decreases: almost 9 times for different operating modes;

– in the Q_{0max} mode: from $\lambda/\lambda_0 = 402$ at $l/S = 40$ to $\lambda/\lambda_0 = 45.2$ at $l/S = 4.5$, i.e. 9 times;

– the probability of failure-free operation P increases, for example, in the Q_{0max} mode from $P = 0.8863$ at $l/S = 40$ to $P = 0.9865$ at $l/S = 4.5$;

– the time of reaching the stationary operating mode τ increases insignificantly by 20%.

At the same time, such parameters as: the refrigerating coefficient E , the heat transfer capacity of the radiator αF remain constant.

Conclusions. A thermophysical model of a system for ensuring temperature regimes has been developed for controlling the temperature regime of operation of a number of heat-dependent and heat-loaded elements of electronic equipment based on a TEC complex with a series electrical connection at different temperature levels of cooling T_0 from $T_0 = 295\text{K}$ to $T_0 = 250\text{K}$ with different heat loads Q_0 from $Q_0 = 0.5\text{W}$ to $Q_0 = 15\text{W}$ for various current operating modes.

A comparative analysis of the main parameters, reliability indicators and dynamic characteristics of the TEC complex at different temperature levels of cooling, a given unified geometry of thermoelement legs (l/S ratio) and different current operating modes.

The research results showed the possibility of controlling the thermal regime of the TEC complex by choosing the current operating mode, taking into account the weight of each of the limiting factors in terms of weight and size, energy and dynamic characteristics.

In addition, the analysis showed that with an increase in the ratio l/S : a decrease in the value of the operating current I ; the time to reach the stationary operating mode τ , the amount of consumed energy N ; Lowering the voltage U , the number of thermoelements n , the relative dependence of failures λ/λ_0 and a decrease in the probability of failure-free operation P . In this case, the coefficient of performance remains.

With serial electrical connection of the TEC in combination with the possibility of using one TEC and one heat sink.

REFERENCES:

1. Ellison, G.N. (2020). *Thermal Computations for Electronics*. Boca Raton: CRC Press, 404 p. Retrieved from: <https://doi.org/10.1201/9781003029328> [in English].
2. Hyoung-Seuk Choi, Won-Seon Seo, Duck-Kyun Choi (2011). Prediction of Reliability on Thermoelectric Module through Accelerated Life Test and Physics of Failure. *Electronic Materials Letters*, vol. 7. DOI: 10.1007/s13391-011-0917-x [in English].
3. Erturun, U., Mossi, K. (2012). A Feasibility Investigation on Improving Structural Integrity of Thermoelectric Modules with Varying Geometry. *ASME 2012 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems* (Stone Mountain, Georgia, USA, September 19–21, 2012). DOI: 10.1115/SMASIS2012-8247 [in English].
4. Venkatesan, K., Venkataramanan, M. (2020). Experimental and Simulation Studies on Thermoelectric Cooler: A Performance Study Approach. *International Journal of Thermophysics*, vol. 41. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2 [in English].
5. Hao Li, Xiaohong Ding, Fanzhen Meng, Dalei Jing, Min Xiong (2019). Optimal design and thermal modelling for liquid-cooled heat sink based on multi-objective topology optimization: an experimental and numerical study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 144, pp. 1–18. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118638> [in English].
6. Xin Dong, Xiaomin Liu (2019). Multi-objective optimal design of microchannel cooling heat sink using topology optimization method. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/10407782.2019.1682872> [in English].
7. Sootsman, J.R., Chung, D.Y., Kanatzidis, M.G. (2009). New and old concepts in thermoelectric materials. *Angewandte Chemie – International Edition*, vol. 48, iss. 46, pp. 8616–8639 [in English].
8. Wenlong Jin, Liyao Liu, Tao Yang, Hongguang Shen, Jia Zhu, Wei Xu, Shuzhou Li, Qing Li, Lifeng Chi, Chong-an Di, Daoben Zhu (2018). Exploring Peltier effect in organic thermoelectric films. *Nature Communications*, vol. 9. DOI: 10.1038/s41467-018-05999-4 [in English].
9. Ji-Zhu Hu, Bin Liu, Jun Zhou, Baowen Li, Yuanyuan Wang (2018). Enhanced thermoelectric cooling performance with graded thermoelectric materials. *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 57, no. 7. DOI: 10.7567/jjap.57.071801 [in English].

10. Saifizi Saidon, M., Lee, T.W., Anuar S.N.N., Zunaidi I., Diana, N.S., Wan Azani, M., Khairunizam, W., Shahrman, A., Zuradzman, M.R. (2018). Development and investigation of thermoelectric cooling performance based on space scales. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, vol. 429(1), p. 012083. DOI: 10.1088/1757-899x/429/1/012083 [in English].

11. Zaykov, V., Mescheryakov, V., Zhuravlov, Yu. (2018). Analysis of relationship between the dynamics of a thermoelectric cooler and its design and modes of operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 8(91), pp. 12–24. Retrieved from: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123891> [in English].

12. Zaykov, V., Mescheryakov, V., Zhuravlov, Yu. (2019). Designing a singlecascade thermoelectric cooler with the predefined time to enter a stationary mode of operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 8(102), pp. 38–46. Retrieved from: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184400> [in English].

13. Zaykov, V.P., Kinshova, L.A., Moiseev, V.F. (2009). Prediction of reliability indicators, thermoelectric cooling devices. Book 1: One-stage devices. Odesa: Polytehperiodika, 120 p. [in English].

14. Zaykov, V., Mescheryakov, V., Zhuravlov, Yu. (2019). Prediction of reliability indicators, thermoelectric cooling devices. Book 4: Dynamics of functioning of single-stage TEC. Odesa: Polytehperiodika, 290 p. [in English].

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.4>

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ

Коротун О.В. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-2240-7891

Вакالیук Т.А. – доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри інженерії програмного забезпечення
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-6825-4697

Зубрицький В.В. – студент
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-9216-8032

Гордієнко І.В. – кандидат педагогічних наук
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0001-6182-4968

У статті описана розробка веб-додатку «система управління навчанням», що ґрунтується на використанні архітектурного патерну для побудови таких додатків – MVC. Також при створенні були використані наступні інструменти та технології, а саме: Microsoft SQL Server – система керування базами даних та мова, що використовується для запитів – Transact-SQL, MS SQL обрано завдяки її надійності та захищеності та вбудовану підтримку .NET Framework; ASP.NET Core як вільно-розповсюджуваний крос-платформний фреймворк для створення веб-додатків з відкритим вихідним кодом, що підтримують паралельне управління версіями, при якому різні програми, що працюють на одному комп'ютері, можуть ґрунтуватися на різних версіях ASP.NET Core; з метою побудови GraphQL API в даному веб-додатку буде використано бібліотеку з відкритим кодом GraphQL.Net; Entity Framework CORE як об'єктно-орієнтовану технологію доступу до даних; React – відкрита JavaScript бібліотека для створення інтерфейсів користувача; Redux – відкрита JS бібліотека призначена для управління станом програм JavaScript та Apollo Client як бібліотеку управління станом для JavaScript, яка дозволяє управляти локальними та віддаленими даними за допомогою GraphQL. У роботі описана структура системи управління навчанням, представлена схема база даних розробленої системи, у системі визначені три ролі (учитель, учень, користувач) та їх права, продемонстрована діаграма компонентів системи, до якої входять модулі модулі LearningService.EF відповідає за роботу з БД, бізнес логіка LearningService.Core та веб-частина сисме LearningService.Web, а також визначені скалярні функції для підрахунку середнього результату користувачів за проходження тесту, кількості проходжень тесту, рейтингу студента, прогресу проходження курсу студентом, кількості студентів, що підписались на окремий курс.

Ключові слова: дистанційне навчання, система управління навчанням, веб-додаток, MVC, база даних.

Korotun O.V., Vakaliuk T.A., Zubrytskyi V.V., Hordiienko I.V. Theoretical aspects of learning management system development

The article describes the development of a web application “learning management system”, which is based on the use of an architectural pattern for the construction of such applications – MVC. The following tools and technologies were also used in the creation, namely: Microsoft SQL Server – database management system and language used for queries – Transact-SQL, MS SQL was chosen due to its reliability and security and built-in support for .NET Framework; ASP.

NET Core as a free-to-air cross-platform framework for creating open-source web applications that support parallel version control, in which different programs running on the same computer can target different versions of ASP.NET Core; to build the GraphQL API in this web application will use the open-source library GraphQL.Net; Entity Framework CORE as an object-oriented data access technology; React – open JavaScript library for creating user interfaces; Redux is an open-source JS library designed to manage the status of JavaScript and Apollo Client programs as a JavaScript management library that allows you to manage local and remote data using GraphQL. The structure of the learning management system is described, the database of the developed system is presented, the system defines three roles (teacher, student, user) and their rights, the diagram of system components is shown, which includes modules. business logic LearningService.Core and web part of the system LearningService.Web, as well as defined scalar functions for calculating the average user score for the test, the number of tests, student rating, the progress of the student, the number of students who signed up for a course.

Key words: distance learning, learning management system, web application, MVC, database.

Вступ. В останні роки головною тенденцією розвитку вітчизняної та зарубіжної освіти є дистанційне навчання, особливо гостро це питання постає в умовах пов'язаних з поширенням COVID-19. Дистанційне навчання ґрунтується на широкому використанні різноманітних новітніх інформаційних технологій, мережі Інтернет, моделей навчання, які адаптовані під таке навчання, та спрямоване на підвищення його якості, полегшення доступу студентів та викладачів до освітніх ресурсів і послуг, а також обміну навчальною інформацією та спільною роботою на відстані. Крім віддаленого навчання, дистанційне навчання стає доповненням очної та заочної форм навчання у закладах вищої освіти.

Дистанційне навчання орієнтоване на принцип «вчитися завжди і всюди», створює умови для реалізації принципів особистісно орієнтованої освіти. Важливою складовою побудови такого навчання та його впровадження є активне та постійне використання систем управління навчанням (СУН).

Постановка проблеми. На сьогодні освітньою спільнотою вже накопичений достатній досвід і навчально-методичний матеріал щодо впровадження та застосування різноманітних СУН та створення в них електронних навчальних курсів для підвищення ефективності процесу засвоєння знань та покращення якості підготовки студентів. У системі очної освіти такі курси можна використовувати як додаткові навчальні засоби, що дозволяють методично правильно організувати контрольовану викладачем самостійну роботу студентів. На сьогодні недостатньо вивчена технічна сторона розробки системи управління навчанням, тому висвітлено наступні завдання, що виникають при створенні такого додатку, а саме:

- проведення аналізу систем управління навчанням;
- визначення архітектури та узагальненої структури системи;
- обґрунтування та вибір засобів реалізації системи;
- реалізація веб-додатку «система управління навчанням».

Мета роботи – дослідження особливостей створення та розробки веб-додатку «система управління навчанням».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні та зарубіжні науковці зробили значний внесок щодо дослідження та висвітлення проблеми впровадження дистанційного навчання, а саме: Ю.М. Богачков, В.Ю. Биков, Т.А. Вакалюк, О.В. Коротун, В.М. Кухаренко, Н.Г. Сиротенко, О.М. Спірін, Ю.В. Триус та інші вчені. Н.М. Носовець [11] у результаті аналізу педагогічних досліджень описує основні функціональні компоненти педагогічної діяльності викладача дистанційної освіти, виділено такі види діяльності: методична; організаційно-управлінська; психолого-педагогічна; викладацька; дослідницька. Н.В. Бахмат [1] у своїй роботі наголошує на необхідності розвитку та впровадження

інформаційно-комунікаційних технологій і дистанційної форми навчання у вищій школі, визначає низку перспективних напрямів у розробленні та впровадженні інформаційноосвітнього середовища освітньо-наукової підготовки магістрів в умовах дистанційного навчання.

Н.С. Довбиш та М.В. Петченко [8] описують зародження дистанційного навчання в Україні, розглядають роль сучасного викладача в системі дистанційного навчання, а також роблять порівняльний аналіз впровадження дистанційного навчання у закладах вищої освіти України. Недоліки системи дистанційного навчання представлені у роботі К.М. Пересади та Л.М. Приблуди [12]. Науковець С.М. Бужинська [3] визначає роль дистанційного навчання в системі ЗВО та проблеми, що виникають на шляху адаптації студентів в реалізації даного освітнього середовища.

Проблемі організації та впровадження СУН в освітній процес присвячені праці таких науковців: А.Л. Бочкова [2], Т.А. Вакалюк [4], А. І. Гладир і Н. В. Зачепи [6], С.М. Горобця [7], О.В. Коротун [9], С.Г. Литвинова [10], О.М. Спіріна [5] та ін. Однак проведений аналіз наукових праць свідчить про недостатнє вивчення технічного аспекту проблеми створення та розробки веб-додатку «система управління навчанням».

Виклад основного матеріалу. Розглянемо завдання вибору архітектури розробки веб-додатку «система управління навчанням». Найпопулярнішим архітектурним патерном для побудови веб-додатку є MVC. Даний шаблон передбачає поділ системи на три взаємопов'язані частини: модель даних, вигляд (інтерфейс користувача) та модуль керування. Застосовується для відокремлення даних (моделі) від інтерфейсу користувача (вигляду) так, щоб зміни інтерфейсу користувача мінімально впливали на роботу з даними, а зміни в моделі даних могли здійснюватися без змін інтерфейсу користувача. Проте цей патерн має суттєвий недолік – кожна дія користувача супроводжується не лише запитом на сервер, а й повним презавантаження сторінки, що досить негативно впливає на довід користувача.

Тому для побудови користувацького інтерфейсу буде використано односторінковий застосунок. Односторінковий застосунок (single-page application, SPA), також відомий як односторінковий інтерфейс (single-page interface, SPI) – це веб-застосунок чи веб-сайт, який вміщується на одній сторінці з метою забезпечити користувачу досвід близький до користування настільною програмою.

В односторінковому застосунку весь необхідний код – HTML, JavaScript, та CSS – завантажується разом зі сторінкою, або динамічно довантажується за потребою, зазвичай у відповідь на дії користувача. Сторінка не оновлюється і не перенаправляє користувача до іншої сторінки у процесі роботи з нею. Взаємодія з односторінковим застосунком часто включає в себе динамічний зв'язок з веб-сервером [4].

Для серверної частини додатку було обрано GraphQL на противагу REST (Representational State Transfer – архітектурний стиль для розподілених гіпертекстових систем). Усі запити на сервер будуть виконуватися за допомогою графової мови запитів, що працює наступним чином: клієнт в запиті вказує ті дані, які необхідно отримати. GraphQL – це мова запитів даних та мова маніпуляцій з відкритим кодом для API, і середовище виконання для виконання запитів із наявними даними. GraphQL було розроблено на противагу побудови сервісам на архітектурі Rest API [2].

Для розробки веб-додатку та його інтерфейсу існує безліч засобів, але в даній кваліфікаційній роботі використані наступні:

1) Microsoft SQL Server – комерційна система керування базами даних, що розповсюджується корпорацією Microsoft. Мова, що використовується для запитів – Transact-SQL, створена спільно Microsoft та Sybase. Transact-SQL є реалізацією стандарту ANSI / ISO щодо структурованої мови запитів SQL із розширеннями. Використовується як для невеликих і середніх за розміром баз даних, так і для великих баз даних масштабу підприємства. Багато років вдало конкурує з іншими системами керування базами даних. MS SQL використовує реляційну модель СУБД для контролю цілісності даних [8].

MS SQL було обрано через надійність та захищеність та вбудовану підтримку .NET Framework. Завдяки цьому, процедури бази даних, що зберігаються, можуть бути написані на будь-якій мові платформи .NET з використанням повного набору бібліотек, доступних для .NET Framework.

2) ASP.NET Core – вільно-розповсюджуваний крос-платформний фреймворк для створення веб-додатків з відкритим вихідним кодом. Дана платформа розробляється компанією Майкрософт спільно з спільнотою і має велику продуктивність в порівнянні з ASP.NET. Має модульну структуру і сумісна з такими операційними системами як Windows, Linux і macOS.

Незважаючи на те, що це новий фреймворк, побудований на новому веб-стеку, він має високий ступінь сумісності концепцій з ASP.NET. Додатки ASP.NET Core підтримують паралельне управління версіями, при якому різні програми, що працюють на одному комп'ютері, можуть орієнтуватися на різні версії ASP.NET Core. Це було неможливо в попередніх версіях ASP.NET [3].

Додаток ASP.NET Core виконується разом з внутрішньо процесною реалізацією HTTP-сервера. Реалізація сервера прослуховує HTTP-запити і передає їх в додаток як набір функцій запитів, об'єднаних в HttpContext. Як веб-сервер буде використовуватися Kestrel. Це багатоплатформний веб-сервер для ASP.NET Core. Kestrel за замовчуванням включається в шаблони проектів ASP.NET Core. Для побудови GraphQL API в даному веб-додатку буде використано бібліотеку з відкритим кодом GraphQL.Net [1].

3) Entity Framework CORE – об'єктно-орієнтована технологія доступу до даних, є object-relational mapping (ORM) рішенням для .NET CORE Framework від Microsoft. Надає можливість взаємодії з об'єктами як за допомогою LINQ у вигляді LINQ to Entities, так і з використанням Entity SQL. Вона була частиною .NET Framework, але з версії 6 Entity Framework стала відокремленою від .NET Framework [7].

4) React – відкрита JavaScript бібліотека для створення інтерфейсів користувача, яка покликана вирішувати проблеми часткового оновлення вмісту веб-сторінки, з якими стикаються в розробці односторінкових застосунків. React дозволяє розробникам створювати великі веб-застосунки, які використовують дані, котрі змінюються з часом, без перезавантаження сторінки. Його мета полягає в тому, щоб інтерфейс системи був швидким, простим та масштабованим.

5) Redux – відкрита JS бібліотека призначена для управління станом програм JavaScript. Найчастіше використовується разом з React або Angular для побудови інтерфейсів користувача. Redux використовує наступний потік подій, що зображено на рис. 1. Головна особливість Redux – це підтримка великого єдиного незмінного стейту. Для кожної дії він бере старий стейт, робить копію, застосовує нові зміни та робить його новим стейтом.

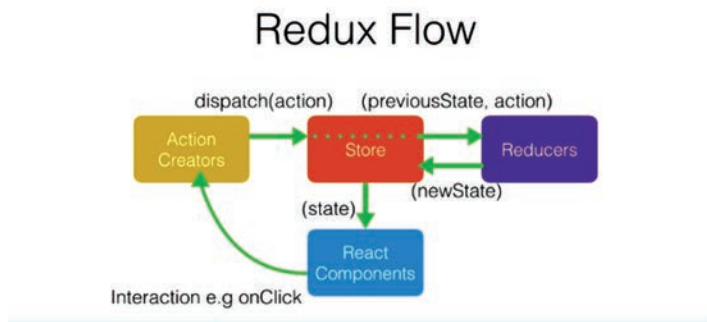


Рис. 1. Redux-Flow

6) Apollo Client – це всебічна бібліотека управління станом для JavaScript, яка дозволяє управляти як локальними, так і віддаленими даними за допомогою GraphQL. Використовується його для отримання, кешування та модифікації даних програми, при цьому автоматично оновлюючи інтерфейс (рис. 2).

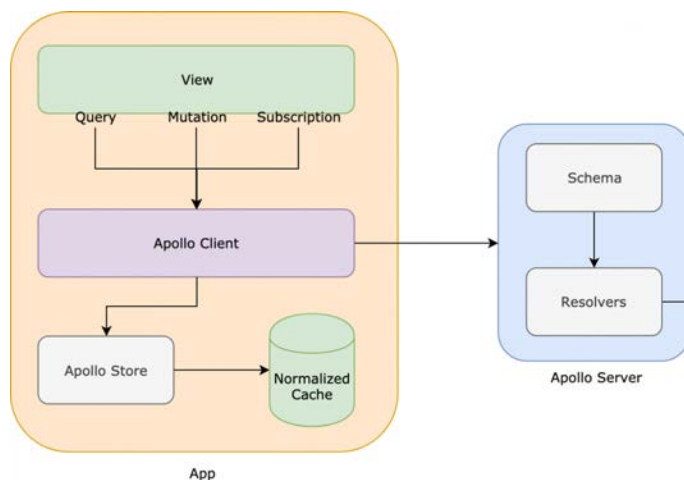


Рис. 2. Схема використання Apollo Client в додатку

Наступним завданням є визначення варіантів використання та структури системи управління навчанням. Аналіз вимог до програмного забезпечення дозволив побудувати діаграму варіантів використання СУН. Діаграми варіантів використання описують взаємозв'язки і залежності між групою варіантів використання і акторами, які беруть участь у процесі. За діаграмами варіантів використання можна сказати, що система має робити, але не те, як вона досягає потрібних результатів, для останнього ці діаграми просто не придатні.

Діаграми варіантів використання служать для позначення специфічної ролі актора в окремому варіанті застосування. Іншими словами, асоціація специфікує семантичні особливості взаємодії акторів і варіантів використання в графічній моделі системи. Таким чином, це відношення встановлює, яку конкретну роль грає актор при взаємодії з примірником варіанту використання

Актор – це зовнішній чинник (поза межами системи), який взаємодіє з системою шляхом участі у випадку використання. Акторами, на практиці, можуть бути звичайні люди (наприклад, користувачі системи), інші комп'ютерні системи або зовнішні події.

Ця діаграма дає змогу зрозуміти, які актори взаємодітимуть з веб-додатком. Це зокрема неавторизований та авторизований користувач, а також адміністративні актори такі як студент, викладач та адміністратор.

Для неавторизованого користувача є можливість перегляду списку доступних курсів і проходження реєстрації. В свою чергу, множина дій авторизованого користувача розширюється: 1) після знаходження відповідного курсу та запису на нього отримувати весь контент курсу (навчальний матеріал) та відповідні завдання для перевірки знань; 2) зможе відстежувати поточний хід навчання та перевіряти всі оцінки відповідно до системи оцінювання; 3) викладач повністю керує курсом (його наповненням);

Побудовану діаграму варіантів використання зображено на рис. 3.

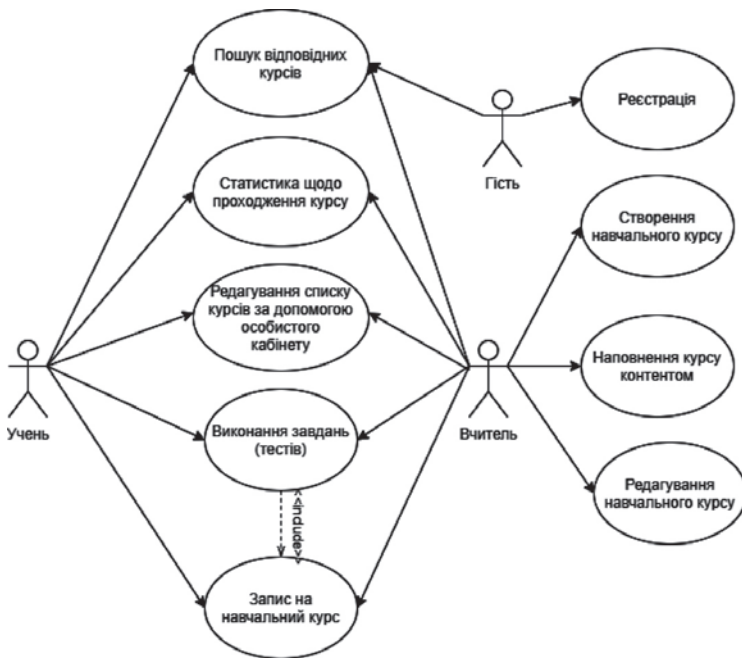


Рис. 3. Діаграма варіантів використання системи управління навчанням

Наступним етапом є проектування структури системи управління навчанням. Для цього буде доцільно побудувати діаграму компонентів. Діаграма компонентів – діаграма, на якій відображаються компоненти, залежності та зв'язки між ними.

Діаграми компонентів відображають залежності між програмними компонентами, що виникають на етапі компіляції або в процесі виконання програми. На діаграмах компонентів зображується входження класів і об'єктів в програмні компоненти системи (модулі, бібліотеки тощо). Побудовану діаграму компонентів зображено на рис. 4.

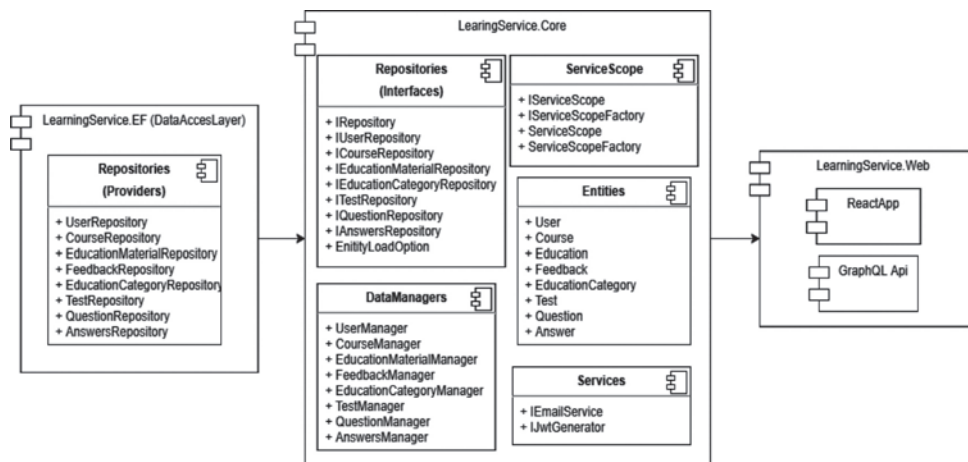


Рис. 4. Діаграма компонентів

У діаграмі система ділиться на 3 модулі:

1. LearningService.EF (DataAccessLayer) – відповідає за роботу з БД, реалізований на основі ORM (Object-relational mapping) – Microsoft.EntityFrameworkCore;
 - Repositories – класи, які реалізують інтерфейси (LearningService.Core.Repositories) та відповідають за роботу з базою даних, а саме створення, редагування, видалення та вилучення даних;
2. LearningService.Core – бізнес логіка:
 - Repositories – інтерфейси, що описують поведінку роботи з базою даних;
 - Services – інтерфейси, що описують поведінку додаткових операцій, таких як відправка листів, генерація токенів, тощо;
 - DataManagers – класи, які інкапсулюють в собі логіку роботи з даними;
 - Entities – класи, що виступають моделями даних для БД;
3. LearningService.Web – веб-частина системи:
 - GraphQL Api – ключова точка системи побудована для отримання та видачі даних, на основі графової мови запитів GraphQL;
 - client-app – front-end частина, з якою взаємодіє користувач.

Розглянемо схему бази даних системи управління навчанням. При проектуванні структури бази даних СУН включені наступні таблиці (рис. 5): Courses; Users; User_Test; User_Role; Roles; Tests; Questions; Answers; EducationCategories; EducationMaterial; Course_User.

Розглянемо кожену таблицю БД, що має свою ключову роль та призначення. Таблиця «Courses» призначена для збереження інформації про курс, яка може бути цікавою та корисною для студенту.

Для збереження даних про особисту інформацію користувача створена таблиця «Users». Також містить дані необхідні для автентифікації. Для збереження інформації про роль користувача була створена допоміжна таблиця «User_Role». Для збереження інформації про доступні ролі на сервері та в додатку була створена таблиця «Roles». Таблиця «EducationCategories» містить всю детальну інформацію про теми та навчальні категорії, які слугують орієнтиром для користувача в різноманітні контенту курсу. Таблиця «EducationMaterial» містить всю корисну та детальну інформацію для користувача, а саме вивчення начального матеріалу навчальних курсів. Таблиця «Tests» містить детальну інформацію про тест для користувача та деяку

статистичну інформацію для викладачів. Для збереження результатів проходження тестів студентами та водночас для формування статистики щодо проходження ним курсу створена таблиця «User_Tests». Для збереження інформації щодо питань, які використовуються в тесті, створено таблицю «Questions». Для збереження інформації про відповіді до запитань тестів створено таблицю «Answers».

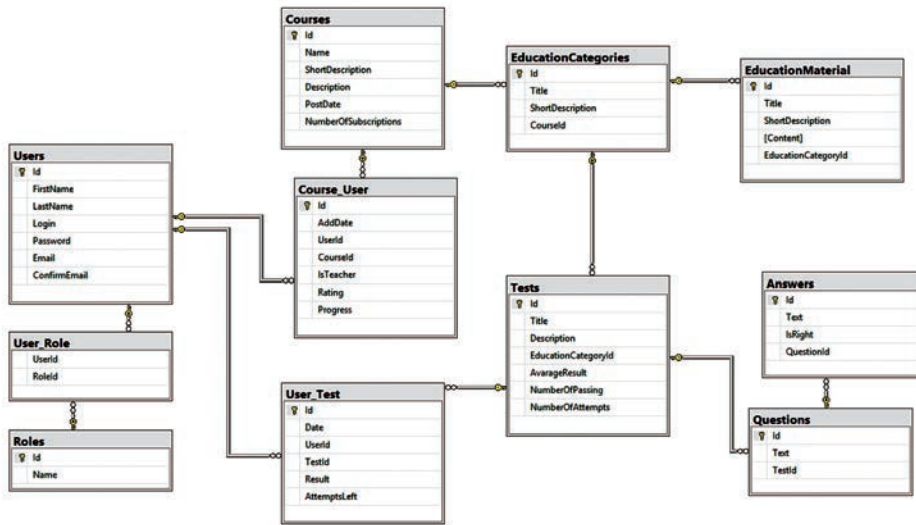


Рис. 5. Діаграма бази даних

Однією з основних можливостей СУН є відслідковування прогресу проходження курсу як викладачами, так і студентами та отримання статистики щодо активності студентів викладачами. Саме для цього було створено наступні функції в базі даних:

Таблиця 1

Опис скалярних функцій

Назва	Вхідні параметри	Опис
CalculateAverageResult	TestId (Uniqueidentifier)	Підраховує середній результат користувачів за проходження тесту
CalculateNumberOfPassing	TestId (Uniqueidentifier)	Підраховує кількість проходжень тесту
CalculateUserRating	CourseId (Uniqueidentifier), UserId (Uniqueidentifier)	Підраховує рейтинг студента за результатами проходження тестів
CalculateUserProgress	CourseId (Uniqueidentifier), UserId (Uniqueidentifier)	Підраховує прогрес проходження курсу студентом
CalculateNumberOfSubscriptions	CourseId (Uniqueidentifier)	Підраховує кількість студентів, що підписались на курс

Висновки і пропозиції. Проведений аналіз предметної області дозволив визначити основні аспекти СУН. Для цього обрано оптимальну архітектуру з точки зору користувачького досвіду та на її основі підібрано відповідний набір технологій, що буде використовуватися для побудови серверної та клієнтської частини додатку. Визначившись із оптимальною архітектурою, обрано достатній набір програмних продуктів для реалізації задач: ASP.NET Core та GraphQL.Net для реалізації GraphAPI, EntityFramework Core для роботи з СУБД, MS SQL як СУБД, React, Redux, Apollo Client для клієнтської частини, Microsoft Visual Studio 2019 та Visual Studio Code для розробки серверної та клієнтської частини відповідно. Проаналізовано всі варіанти використання СУН та визначено основні вимоги для роботи системи. Визначені основні об'єкти в системі та зв'язки між ними. Спроековано базу даних додатку та діаграму класів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бахмат Н.В. Інформаційно-освітнє середовище закладу вищої освіти в системі дистанційного навчання. *Наукові записки Національного педагогічного університету імені МП Драгоманова, Серія: «Педагогічні науки»*. 2018. С. 28–38.
2. Бочков А.Л. Использование LMS-систем для дистанционного обучения. *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2014. С. 42–48.
3. Бужинська С., Стрюкова С. Адаптація студентів ЗВО до дистанційного навчання: психологічний аспект. *Матеріали конференції МЦНД*. 2020. С. 58–60.
4. Вакалюк Т.А. Переваги використання хмарної LMS NEO перед іншими аналогами при проектуванні хмаро орієнтованого середовища навчання для підготовки бакалаврів інформатики [Електронний ресурс]. *Сборник материалов XII Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании»*. *Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus*. Спец. вып. Днепропетровск, Варна. Рр. 505–510.
5. Використання електронних відкритих систем для інформаційно-аналітичної підтримки педагогічних досліджень: короткий термінологічний словник / упоряд.: О.М. Спірін, С.М. Іванова, А.В. Яцишин, А.В. Кільченко та ін. Київ : ІТЗН НАПН України, 2017. 67 с.
6. Гладир А.Г., Зачепа Н.В., Мотруніч О.О. Системи дистанційного навчання: огляд програмних платформ. *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Кременчук, 2012. С. 43–44.
7. Горобець С.М., Горобець О.В. Перспективи використання інформаційно-комунікаційних технологій у дистанційному та змішаному навчанні студентів гуманітарних спеціальностей. *Нові технології навчання*: наук.-метод. зб. Київ : Ін-т інноваційних технологій і змісту освіти МОН України, 2016. Вип. 89. Ч. 2. С. 85–90.
8. Довбиш Н.Є. Сучасна роль викладача в системі дистанційного навчання. *Наукові тренди постіндустріального суспільства: матеріали міжнар. наук. конф. (м. Рівне, 28 лют. 2020 р.)* Рівне, 2020. Т. 1. С. 120–123.
9. Коротун О.В. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду використання систем управління навчанням. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: матеріали Всеукр. наук.-практ. Internet-конф. Черкаси, 2017. С. 169–173.
10. Литвинова С.Г. Теоретико-методичні основи проектування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу: автореферат дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті / Литвинова Світлана Григорівна ; Академія пед. наук України, Інститут інформаційних технологій та засобів навчання. Київ, 2016. 40 с.

11. Носовець Н.М. Роль і функції викладача в системі дистанційного навчання. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка*. Чернівці : ЧНПУ, 2017, Вип. 144. С. 90–94.

12. Пересада К.М. Недоліки системи дистанційного навчання. *Організація освітнього процесу в умовах дистанційного навчання у вищій школі: методологія, методика, практика : тези доповідей Всеукраїнської науково-методичної конференції*. Київ : НУХТ, 2021. С. 102–103.

REFERENCES:

1. Bakhmat N.V. (2018) Informacijno-osvitnje sredovyshhe zakladu vyshhoji osvity v systemi dystancijnogho navchannja [Information and educational environment of higher education institution in the distance learning system]. *Naukovi zapysky Nacionaljnogho pedagoghichnogho universytetu imeni MP Draghomanova, Serija: Pedagoghichni nauky*, pp. 28–38. Retrieved from: <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/24181/Bakhmat.pdf?sequence=1> (accessed January 9, 2022)

2. Bochkov A.L. (2014) Yspolzovanye LMS-system dlia dystantsyonnoho obuchenya [Using LMS systems for distance learning]. *Modern engineering. Science and education*, pp. 42–48.

3. Buzhynska S., Striukova S. (2020) Adaptatsiia studentiv ZVO do dystantsiinoho navchannia: psykholohichni aspekt [Adaptation of students of higher education to distance learning: psychological aspect]. *Scientific support of technological progress of the XXI century: materials of the International scientific conference (Ukraine, Chernivtsi, May 1, 2020)*, Chernivtsi pp. 58–60.

4. Vakaliuk T.A. (2016) Perevahy vykorystannia khmarnoi LMS NEO pered inshymy analogamy pry proektuvanni khmaro oriietovanoho sredovyshcha navchannia dlia pidhotovky bakalavriv informatyky [Advantages of using cloud LMS NEO over other analogues in the design of cloud-based learning environment for the preparation of bachelors of computer science]. *Sbornyk materyalov XII Mezhdunarodnoi konferentsyy «Stratehiya kachestva v promyshlennosti y obrazovanyu»*. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Acta Universitatis Pontica Euxinus*. Spets. vyp. Dnepropetrovsk, Varna. pp. 505–510. Retrieved from: <http://eprints.zu.edu.ua/21653/> (accessed January 9, 2022)

5. Vykorystannia elektronnykh vidkrytykh system dlia informatsiino-analitychnoi pidtrymky pedahohichnykh doslidzen: korotkyi terminolohichni slovnyk (2016) uporiad.: O.M. Spirin, S.M. Ivanova, A.V. Yatsyshyn, A.V. Kilchenko ta in. Kyiv: IITZN NAPN Ukrainy. [in Ukrainian]

6. Hladyr A.I., Zachepa N.V., Motrunich O.O. (2012) Systemy dystantsiinoho navchannia: ohliad prohramnykh platform [Distance learning systems: an overview of software platforms]. *Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy, metody modeliuвання ta optymizatsii : materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Kremenichuk, pp. 43–44.

7. Horobets S.M., Horobets O.V. (2016) Perspektyvy vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u dystantsiinomu ta zmishanomu navchanni studentiv humanitarnykh spetsialnostoni [Prospects for the use of information and communication technologies in distance and blended learning of humanities students.]. *Novi tekhnolohii navchannia: nauk.-metod. zb. Kyiv: In-t innovatsiinykh tekhnolohii i zmistu osvity MON Ukrainy*, vol. 89. no. 2. pp. 85–90. Retrieved from: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/8156> (accessed January 9, 2022)

8. Dovbysh N.Ye. (2020) Suchasna rol vykladacha v systemi dystantsiinoho navchannia [The modern role of the teacher in the distance learning system]. *Naukovi trendy postindustrialnogo suspilstva: materialy mizhnar. nauk. konf.* (Rivne, 28 liut. 2020 r.) Rivne, T. 1. pp. 120–123.

9. Korotun O.V. (2017) Analiz vitchyznianoho ta zarubizhnogo dosvidu vykorystannia system upravlinnia navchanniam [Analysis of domestic and foreign experience in the use of learning management systems]. *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani*

tehnolohii u vyrobnytstvi ta osviti: stan, dosiahnennia, perspektyvy rozvytku: materialy Vseukr. nauk.-prakt. Internet-konf. Cherkasy, pp. 169–173.

10. Lytvynova S.H. (2016) *Teoretyko-metodychni osnovy proektuvannia khmaro oriientovanoho navchalnoho seredovyshcha zahalnoosvitnoho navchalnoho zakladu* [Theoretical and methodological bases of designing a cloud-based educational environment of a secondary school]: avtoreferat dys. ... d-ra ped. nauk : 13.00.10 – informatsiino-komunikatsiini tekhnohii v osviti. Kyiv: Akademiia ped. nauk Ukrainy, Instytut informatsiinykh tekhnohii ta zasobiv navchannia.

11. Nosovets N.M. (2017) Rol i funktsii vykladacha v systemi dystantsiinoho navchannia [The role and functions of the teacher in the distance learning system]. *Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni T.H. Shevchenka*. Chernihiv : ChNPU, 2017, Vol. 144. pp. 90–94. Retrieved from: <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/661> (accessed January 9, 2022)

12. Peresada K.M. (2021) Nedoliky systemy dystantsiinoho navchannia [Disadvantages of the distance learning system]. *Orhanizatsiia osvitnoho protsesu v umovakh dystantsiinoho navchannia u vyshchii shkoli: metodolohiia, metodyka, praktyka : tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovo-metodychnoi konferentsii*. Kyiv : NUKhT, pp. 102–103.

УДК 004.932:616-71
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.5>

АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТОДУ ТЕРМОГРАФІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПАТОЛОГІЇ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Муравйов О.В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-7699-0245

Петрик В.Ф. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-2301-0722

Лисенко Ю.Ю. – кандидат технічних наук, доцент,
старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-9110-6684

Богдан Г.А. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-6745-1509

Наконечная А.В. – студентка кафедри автоматизації
та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0001-7171-8659

Медична термографія найбільш успішно поєднує ефективний пошук патологій та абсолютну неінвазивність для пацієнта та медичного персоналу. Надійність діагностики заснована на стабільності тепловізійної симптоматики, основним параметром якої є послідовність та передбачуваність зміни відносних температур. Це дозволяє використовувати термографію як метод ефективного контролю над перебігом патологічних процесів в організмі людини для різних сфер медичної діяльності.

Робота присвячена аналізу можливостей і перспектив розвитку та застосування термографії як методу медичної діагностики. Розглянуто сучасний стан та проблеми використання тепловізійної апаратури для виявлення різних патологій організму людини. Запропоновано напрями концентрації подальших досліджень щодо вдосконалення методу та його поширення в різних галузях медицини.

Одним із найвідоміших принципів діагностики патологій організму людини на основі термограм є порівняння температур симетричних частин тіла або аналіз зміни градієнта температури на окремих ділянках організму. Перший підхід має кілька винятків, найбільш значущим серед яких є область серця: температура в цій області, безумовно,

вища, ніж у симетричній ділянці з правого боку грудної клітки. Тому такий метод не завжди можливий для застосування, особливо якщо патологія пов'язана з кардіологічним аспектом. Однак порівняння температур симетричних ділянок на основі термограм в інших ділянках тіла людини дозволяє з високою ймовірністю виявити вогнища запальних процесів чи наявність пухлин. Крім онкології, медична тепловізійна техніка знайшла застосування в отоларингології, мамології, стоматології і навіть хірургії, де в процесі певних операцій (наприклад, під час розтину серця або трансплантації) необхідно дуже точно підтримувати певну температуру тіла пацієнта.

Подальші зусилля з удосконалення діагностичного методу медичної термографії доцільно спрямувати на підвищення якості теплових зображень та розробку алгоритмів автоматичної діагностики хвороб та патологій із застосуванням цифрової обробки зображень та технології штучного інтелекту.

Ключові слова: медичний тепловізор, термографія, автоматизація, тепловізійна техніка, неінвазивна діагностика.

Muraviov O.V., Petryk V.F., Lysenko I.I., Bohdan H.A., Nakonechna A.V. Automatization of thermographic diagnostic method of human body pathologies

Medical thermography successfully combines effective search for pathologies and absolute non-invasiveness for patient and medical staff. The reliability of diagnostic is based on the stability of thermal imaging symptoms, the main parameter of which is consistency and predictability of relative temperatures changes. This allows to use thermography as a method of effective testing over the pathological processes in the human body for various areas of medical practice.

The article is devoted to analysis of possibilities and prospects of development and application of thermography as a method of medical diagnostic. The current state and problems of using thermal imaging equipment to detect various pathologies of human body are considered. Directions of concentration of further researches for development of method and its distribution in various spheres of medicine are offered.

One of the most well-known principles of diagnosing pathologies of human organism on the basis of thermograms is comparison of temperatures of symmetrical parts of body or changes analysis in temperature gradient on certain parts of the body. The first approach has several exceptions, the most significant of which is the heart area. Temperature in this area is certainly higher than in symmetrical area on the right side of chest. Therefore, this method is not always possible to use, especially if the pathology is related to cardiological aspect. However, the comparison of temperatures of symmetrical areas on the basis of thermograms in other parts of human body allows with a high probability to detect focus of inflammation or presence of tumors. Besides oncology, medical thermal imaging cameras has found application in otolaryngology, mammology, dentistry and even surgery, where during some operations (for example, heart transplantation) it is necessary to maintain definite temperature of the patient body.

Further efforts for improve the diagnostic method of medical thermography should be aimed at improving the quality of thermal images and the development of algorithms for automatic diagnosis of diseases and pathologies using digital image processing and artificial intelligence technology.

Key words: medical thermal imaging camera, thermography, automatization, thermal imaging system, non-invasive diagnostic.

Постановка проблеми. Як відомо, теплові зображення поверхні тіла дозволяють оцінювати відхилення від норми та аналізувати наявність патологій в організмі людини. Зокрема, медична термографія використовується нині для діагностики раку, травм, запальних процесів. Інформативність аналізу термограми насамперед ґрунтується на роздільній здатності оптичної системи та приймача випромінювання, а також якості отриманого зображення. Остання при цьому залежить від температури навколишнього середовища, наявності завад під час проведення процедури діагностики та ефективності алгоритму цифрової обробки даних.

Однією з основних переваг медичної термографії є неінвазивність, тому що в процесі діагностики проводиться реєстрація лише власного випромінювання об'єкта контролю. Метод також дозволяє виявити на ранній стадії різні захворювання людини та застосовується в багатопрофільних медичних закладах.

Термографія дозволяє проводити аналіз анатомо-топографічних та функціональних змін у досліджуваній зоні. Візуальне спостереження теплової картини тіла

пацієнта за допомогою умовних відмінностей яскравості або колірнього контрасту областей зображення дозволяє визначити різницю температур певних ділянок.

Термографічна техніка, що використовується нині в різнопрофільних медичних закладах, дозволяє отримати якісну високоінформативну термограму окремої ділянки тіла, проте опрацюванням результатів діагностики займається безпосередньо лікар, який самостійно аналізує відхилення температури ділянок теплового зображення від норми. На жаль, за такого підходу є висока ймовірність помилки, зумовленої людським фактором: суб'єктивністю судження та низькою кваліфікацією медичного персоналу.

Основним фактором, що зумовлює складність аналізу результатів термографічної діагностики, є відмінність нормальної температури у різних людей. Частина тіла також мають значну різницю в температурі, і хоча загальні закономірності існують, уніфікувати значення нормальної температури для всіх пацієнтів все одно неможливо через індивідуальні особливості організму. Таким чином, одним з найважливіших та актуальних завдань у розвитку цього напрямку медичної діагностики натеper є автоматизація аналізу термограм і вдосконалення програмних алгоритмів виявлення патологій на основі цифрової обробки зображень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Медична термографія – відносно молодий метод діагностики великої кількості захворювань людини, що дозволяє відслідковувати зміну стану пацієнта, контролювати хід його лікування, динаміку процесу загоєння ран, а також запобігати можливому розвитку ускладнень. Застосування термографа є високоефективним засобом обстеження пацієнтів з метою виявлення запальних процесів, особливо на стадії відсутності клініко-лабораторних даних, тому цей метод діагностики доцільно використовувати саме на ранніх стадіях захворювання. Пасивність та безконтактний характер процесу дослідження взагалі унеможливають нанесення будь-якої шкоди здоров'ю людини. Отже, термографія є потенційно вкрай ефективною для застосування як функціональний і метод скринінг-діагностики. Термограми, отримані за допомогою різних тепловізорів, уніфіковані, відрізняються фактично лише розмірами і якістю зображення та можуть використовуватись одночасно для виявлення різних патологій. У наші дні вже розроблено критерії та методики тепловізійної діагностики для ідентифікації більш ніж двохсот захворювань людини. Метод дозволяє діагностувати відхилення від норми на ранніх стадіях протікання хвороби, що значно прискорює лікування та одужання пацієнта [1, с. 1294–1320]. Протягом останнього десятиліття список патологій, які можна виявити за допомогою медичної термографії, значно розширився. Тенденція зумовлена не лише вдосконаленням тепловізійної техніки, температурна роздільна здатність якої нині вже досягає сотих часток градуса, а й розробкою та впровадженням нових методів обробки та аналізу зображень [2, с. 169–171].

Постановка завдання. Завданням роботи є дослідження можливості використання термографічних систем як засобу ефективного обстеження та виявлення патологій організму людини в різних галузях медицини, аналіз сучасних проблем, актуальних і перспективних сфер використання такого методу діагностики, а також напрямів його вдосконалення з метою підвищення ефективності роботи та більшого поширення.

Виклад основного матеріалу. Як правило, тепловізійні камери реєструють електромагнітне випромінювання довжин хвиль, що відповідають вікнам прозорості атмосфери 3–5 мкм або 8–14 мкм [3, с. 195–199]. Однак, якщо йдеться саме про медичну термографію, вибір спектрального діапазону визначається не

лише характером поглинання атмосфери, оскільки об'єкт контролю (людина) знаходиться близько до камери і ступінь поглинання інфрачервоного (ІЧ) випромінювання повітрям стає відносно невеликим. Встановлено, що термографи, які працюють у діапазоні довжин хвиль 3–5 мкм, дуже чутливі до рефлексів шкіри від теплових джерел навколишнього середовища. Зважаючи на те, що максимальна інтенсивність випромінювання тіла людини з температурою 37°C припадає приблизно на 9,3 мкм [4, с. 106–111], а вплив паразитного фону значно менший у діапазоні 8–14 мкм, під час проєктування медичної ІЧ техніки рекомендується орієнтуватися саме на ці довжини хвиль оптичного спектра.

Принцип роботи всіх теплових детекторів заснований на зміні електричних характеристик матеріалу чутливого шару фотоприймача за рахунок поглинання енергії ІЧ випромінювання, що надійшла від об'єкта контролю. Термограф є оптико-електронним пристроєм, основними елементами якого є матричний приймач випромінювання та оптична система. Багатоелементні фотоприймачі, що застосовуються нині в тепловізійній техніці, мають суттєву теплову інерційність, тому їх частота кадрів обмежується 50 Гц. Проте цього періоду оновлення зображення досить для вирішення всіх актуальних діагностичних задач біомедицини. Натепер температурна чутливість (мінімальна різниця температур, що розпізнається) термографічних приладів за температур контролюваної поверхні 30°C може досягати 0,02°C [5, с. 47–55]. Більшість сучасних термографів мають можливість підключення та передачі даних на комп'ютер для їх подальшої обробки та аналізу медичним працівником.

Застосування термографії. Поверхня певної ділянки тіла людини має свою нормальну температуру, що пов'язано з особливостями системи кровообігу організму. При цьому для конкретного пацієнта вона також є індивідуальною. Проте, крім області серця, температура протилежних симетричних зон за відсутності патологій приблизно однакова. У разі однорідних температурних умов навколишнього середовища відмінність значень температури у таких областях не має перевищувати 0,3°C (рис. 1).

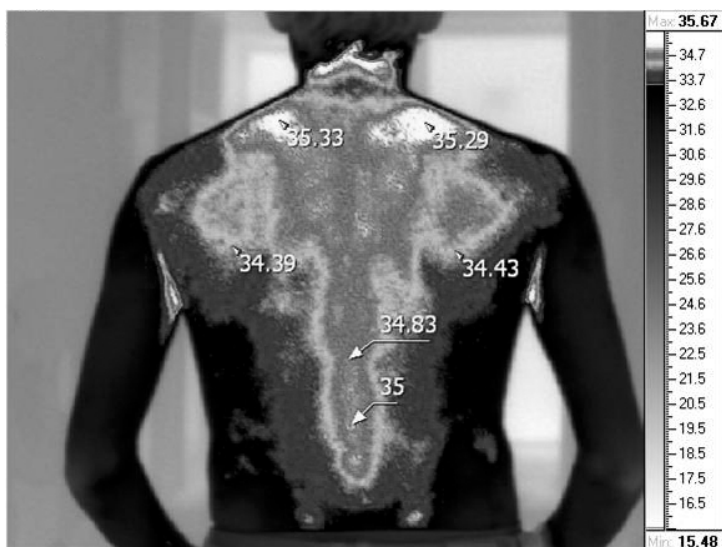


Рис. 1. Термограма здорової людини

На цій закономірності можуть ґрунтуватись принципи аналізу результатів термографічної діагностики: зареєстрована різниця температур на симетричних ділянках тіла пацієнта в 1–2°C сигналізує про наявність патології організму. У разі, коли причиною є онкологічна проблема, відхилення температурного значення у більшу сторону вказує на наявність злоякісної пухлини, меншу – доброякісного переродження.

Нині термографічна діагностика використовується в різних сферах медицини, включаючи онкологію, мамологію, оториноларингологію, кардіохірургію та судово-медичну експертизу. Розглянемо кожен з наведених напрямів медичної діяльності і проаналізуємо можливості, перспективи та особливості застосування методу.

Кардіохірургія. Однією з найважливіших проблем у кардіохірургії є ішемічне ураження міокарда через відсутність нормальної коронарної перфузії внаслідок перетискання аорти. Температурні зміни верхніх відділів серцевого м'яза в досліджуваній зоні чітко виражені на термограмі у разі гіпотермії та гіпертермії в умовах зупинки серця і штучного кровообігу. Високоточний температурний контроль у процедурах охолодження або зігрівання тканин мозку та серця забезпечує максимальний захист міокарда під час хірургічних втручань і дозволяє зменшити час штучного кровообігу. Можливість відстеження у реальному часі змін розподілу температурного поля на поверхні серця за допомогою ІЧ камери є інноваційним та може застосовуватись у процесі кардіохірургічних операцій.

Мамологія. Ефективність методів лікування раку молочної залози залежить головним чином від стадії хвороби та ступеня поширення пухлини. Гормональні препарати, хімотерапія чи променеве лікування є результативними лише у разі розміру новоутворення менше 2 см. У інших випадках ефективним засобом усунення патології залишається лише хірургічне втручання. При цьому результати проведених досліджень свідчать, що лише не більш ніж у 30% пацієнтів діагностують захворювання на ранніх стадіях. Це робить термографічну діагностику, як засіб раннього виявлення пухлин, дуже перспективною до застосування у цьому напрямі медицини.

Температура зони шкірного покриву із проєкцією патології відрізняється від значення у симетричній зоні тіла мінімум на 0,5°C. У разі кіст молочної залози на тепловому зображенні навколо патології спостерігаються кільцеві зони нижчої температури, тоді як осередок характеризується областю локальної гіпертермії.

Оториноларингологія. Термографічний скринінг у разі аурикуло-темпорального синдрому дозволяє зареєструвати наявність градієнта температур у межах 1,5–2,0°C відповідно до симетричної здорової області тіла пацієнта. Ділянка гіпертермії на початковій стадії розвитку патології зазвичай проявляється на термограмі у зоні нижньої щелепи пацієнта у вигляді однорідної структури з розмитими контурами.

Методика тепловізійної діагностики у сфері оториноларингології передбачає поділ обличчя людини на зони певної відносної температури: наприклад, ніс, вушну раковину і підборіддя відносять до холодних областей, а слуховий прохід, губи і область очей – до гарячих ділянок відповідно.

Судово-медична експертиза. Об'єктивне підтвердження думки судово-медичного експерта щодо давності строку завданих ушкоджень є важливою ланкою судового провадження. Травматичний вплив на людину зумовлює виникнення температурної реакції живих тканин організму. Термографічна діагностика дозволяє зареєструвати і зберегти у вигляді цифрових даних значення температур та положення зон гіпертермії, а також дає можливість оцінити давність та характер нанесених пошкоджень.

Абсолютна неінвазивність методу та його безконтактний характер дозволяють адаптувати термографічну діагностику для ефективного оперативного скринінгу потерпілих та звинувачуваних людей. Однак для отримання достовірних результатів дослідження слід проводити за температури навколишнього середовища в межах 22–24°C, що не завжди є можливим в умовах роботи бюро судово-медичної експертизи.

Висновки. Термографічна діагностика захворювань натеper є перспективним напрямом та актуальним завданням у різних сферах медицини. Низька популярність та відсутність масового впровадження такого методу зумовлена його відносною новизною, недостатністю досліджень, відсутністю кваліфікованих медичних фахівців у цій галузі та програмного забезпечення для автоматичної оцінки отриманих результатів. Лише невелика кількість медичних установ в Україні використовують тепловізійну техніку, незважаючи на наявність великої кількості переваг такої діагностики: неінвазивність, швидкодію, високу інформативність.

Нині розвиток технологій штучного інтелекту дозволяє повністю автоматизувати процес аналізу медичних теплових знімків з метою виявлення патологій. Цифрова обробка зображень, алгоритми якої засновані на наведених у роботі принципах аналізу термограм, також значно підвищить вірогідність вчасно та правильно поставленого лікарем діагнозу.

Застосування нейронних мереж, що самонавчаються, за наявності анонімної бази даних термограм, яка складається з кількох тисяч теплових знімків, з поставленими ідентичними діагнозами одночасно двох-трьох висококваліфікованих лікарів дозволить домогтися достовірності автоматичної постановки діагнозу в 95%, що забезпечить успішне подальше функціонування діагностичної системи. У разі реалізації такого підходу робота медичного працівника буде суттєво спрощена.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Иваницкий Г.Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине. *Успехи физических наук*. 2006. № 12. С. 1294–1320.
2. Галаган Р.М., Муравьев А.В., Томашук А.С. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій* : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції. 2019. С. 169–171.
3. Муравьев А.В., Назарчук Е.А. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа. *Вісник інженерної академії України*. 2016. № 4. С. 195–199.
4. Данилова В.А., Шликов В.В. Тепловізійне дослідження розподілу температури міокарда. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2014. № 5. С. 106–111.
5. Ставоровський К.М. Автоматична діагностика та аналіз термограм у медичній практиці. *ElectronComm*. 2014. Vol. 19. № 1 (78). С. 47–55.

REFERENCES:

1. Ivanitsyi, G.R. (2006). Sovremennoe matrichnoe teplovidenie v biomeditsine [State of the art of thermovision in biomedicine]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 12, 1294–1320 [in Russian].
2. Halahan, R.M., & Muraviov, A.V., & Tomashuk, A.S. (2019). Model vosstanovleniia serii izobrazhenii iz smazannogo izobrazheniia dlia resheniia zadachi visokotochnogo izmereniia diametra i temperature izluchaiushchich obektov [Model of restoration of a series of images from a motionblurred image to solve the task of a high-accurate measurement of diameter and temperature of radiative objects]. *IV Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia "Teoretichni ta prikladni aspekti*

radiotekhniki, priladobuduvannia i komputernikh tekhnologii", pp. 169–171. Ternopil: FOP Palianitsia V.A. [in Russian].

3. Muraviov, A.V., & Nazarchuk, E.A. (2016). Termostabilizatsiia kachestva izobrazeniia opticheskoi sistemy termografa [Thermal stabilization of image quality for optical system of thermography camera]. *Visnik inzhenernoi akhademii Ukrainy*, 4, 195–199 [in Russian].

4. Danilova, V.A., & Shlikov, V.V. (2014). Teploviziine doslidzhennia rozpodilu temperaturi miokarda [Using of thermal imaging in the study of the temperature distribution of myocardial]. *Naukovi visti NTUU "KPI"*, 5, 106–111 [in Ukrainian].

Stavorovskii, K.M. (2014). Avtomatichna diagnostika ta analiz termogram v medichnii praktitsi [Automatic diagnostic and analysis of thermal images in medical practice]. *ElectronComm*, 1 (78), 47–55 [in Ukrainian].

УДК 621.3; 543.7.4; 543.8
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.6>

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТА АБО СЕРЕДОВИЩА

Огір О.О. – кандидат технічних наук, науковий співробітник
Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г. Є. Пухова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0001-9623-399X

Проведений аналіз дав змогу виявити відсутність чітких формулювань сутності понять «діагностична візуалізація» і «діагностичне зображення». Тож пропонується визначити, що діагностичне зображення – це графічна (двовимірна або тривимірна) модель аномалії досліджуваного об'єкта чи середовища, для якої може бути здійснена постановка і розв'язання задачі ідентифікації. Відповідно, діагностична візуалізація – це процес побудови такої моделі, і сам цей процес має вже усталену назву «реконструкція діагностичного зображення». Цей процес розглядається в контексті дослідження об'єктів та середовищ випромінюванням ультразвукових хвиль в досліджуваній об'єкті (або в середовищі) з подальшим прийняттям і обробкою відбитих коливань з метою визначення наявності аномалій, що підпадає під визначення ідентифікацію в широкому розумінні (структурна ідентифікація), або їх форми, розміру, положення, глибини залягання тощо, що підпадає під визначення ідентифікації у вузькому розумінні (параметрична ідентифікація).

В роботі увага сконцентрована на певному сегменті ідентифікації у вузькому розумінні – підвищенні якості моделі, де показником якості буде визначено розрізняльну здатність діагностичного зображення. При цьому в контексті теорії ідентифікації відомими будуть вважатися вхідні і вихідні сигнали ультразвукового дослідження, а також загальний вид моделі аномалії, а невідомим залишається алгоритм ідентифікації.

Вирішення завдання в УЗ візуалізації передбачається на основі аналізу фазових співвідношень, що відповідають побудованим за певними елементарними одновимірними голограмами. Мова йде про реконструкцію зображень на основі безлічі одновимірних елементарних голограм на площину, перпендикулярну площині запису елементарної голограми та визначається сукупністю акустичних осей зондуючого простору при русі суміщеного випромінювача – приймача уздовж лінії синтезованої апертури.

Такий підхід повинен дати можливість розв'язувати сумарний по амплітуді ехосигнал, що отримується в точці зондування з різних точок глибини за рахунок різниці початкових фаз комплексних амплітуд окремих гідробіонтів, які мають свої координати в площині зондування і свої значення інтенсивності з урахуванням місця розташування. Щільність скупчення, що відображає інтенсивність окремих гідробіонтів на кольоровому моніторі може бути представлена відносними кольорними моделями або іншим способом досить ефективною візуальною відмінністю кожного гідробіонта окремо з властивим йому розміром і сукупністю всіх гідробіонтів, які визначають щільність їх у зондуючих об'єктах. Слід зазначити, що розглянуті методи отримання зображень за сукупністю одновимірних елементарних голограм можуть бути використані і в інших положеннях по розробці техніки діагностування в медицині, будівництві і т. п.

Ключові слова: діагностична візуалізація, діагностичне зображення, ідентифікація, голограма, графічна модель.

Ogir O.O. Principles of diagnostic visualization of the object or environment

The analysis revealed the lack of clear formulations of the essence of the concepts of “diagnostic visualization” and “diagnostic image”. Therefore, it is proposed to define that a diagnostic image is a graphical (two-dimensional or three-dimensional) model of anomalies of the object or environment under study, for which the identification problem can be set and solved. Accordingly, diagnostic visualization is a process of building such a model, and this process itself is already well-known as “reconstruction of the diagnostic image”. This process is considered in the context of the study of objects and environments by emitting ultrasonic waves into the object (or environment) with the subsequent reception and processing of reflected oscillations to determine the presence of anomalies that fall under the definition of identification

in a broad sense (structural identification), or their shape, size, position, depth, etc., which falls under the definition of identification in the narrow sense (parametric identification).

The paper focuses on a certain segment of identification in the narrow sense – improving the quality of the model, where the quality indicator will determine the resolution of the diagnostic image. In the context of the theory of identification, the input and output signals of the ultrasound examination will be considered known, as well as the general appearance of the anomaly model, and the identification algorithm remains unknown.

The solution of the problem in Ultrasonic visualization is provided on the basis of the analysis of phase relations corresponding to those constructed according to certain elementary one-dimensional holograms. It is a reconstruction of images based on many one-dimensional elementary holograms on a plane perpendicular to the plane of recording the elementary hologram and is determined by the set of acoustic axes of the probing space when moving the combined emitter – receiver along the synthesized aperture line.

This approach should make it possible to solve the total amplitude echo received at the probing point from different depth points due to the difference of the initial phases of the complex amplitudes of individual aquatic organisms, which have their coordinates in the probing plane and their intensity values based on location. Cluster density, which reflects the intensity of individual aquatic organisms on a color monitor; can be represented by relative color models or otherwise quite effective visual differences of each aquatic organism separately with its inherent size and the totality of all aquatic organisms that determine their density in probing volumes.

It should be noted that the considered methods of obtaining images on a set of one-dimensional elementary holograms can be used in other provisions for the development of diagnostic techniques in medicine, construction, etc.

Key words: *diagnostic visualization, diagnostic image, identification, hologram, graphic model.*

Просторове (поперечне) розрізнення в системах дефектоскопії визначається розмірами поперечного перетину звукового променя на різному віддаленні від вимірювальної ґратки і акустичне зображення точкового об'єкту на різних глибинах зондування формується у вигляді зерен різних розмірів та різної яскравості, як з елементів мозаїки. Причиною цьому є різні розміри поперечного перетину звукового променя на різних глибинах зондування, змінення форми зондуючого звукового сигналу і ехосигналів при розповсюдженні за рахунок затухання більш височастотних компонент Фур'є-спектра ехосигналів. При цьому амплітуда ехосигнала буде флюктуувати і вносити сигнали-завади в сформоване діагностичне зображення [1].

Зазначимо, що досить складно забезпечити необхідний рівень адекватності інформації, реєстрованої з різних, послідовних точок синтезованої апертури для всіх точок дефекту, розташованого в сканованому шарі матеріалу. Теоретично, зондування повинно здійснюватися плоскою зондуючою хвилею для всіх точок дефекту з синхронізацією процесу опромінення дефекту з різних точок синтезованої апертури. Оскільки при кожному зондуванні здійснюється тільки один вимір амплітуди і фази ехосигнала з заданого шару матеріалу (по часу затримки приходу ехосигнала) в такій системі якість зображення визначається обмеженнями амплітудної голографії, що є досить впливовими і можуть визначати лише зовнішні контури дефекту в досить розмитому (не сфокусованому) вигляді. Фазована ґратка (ФГ) – це п'єзоперетворювач, що складається з декількох (декількох десятків) окремо керованих і має широке застосування в вирішенні складних задач контролю, в той час, як в Україні практично не використовується.

Розглянуто перспективні напрямки досліджень в області розробки систем дефектоскопії матеріалів та середовищ, які здійснюють виявлення та відображення мікро- та макродефектів на ранній стадії їх появи та розвитку [2]. Такі системи є експертними засобами підвищення надійності та збільшення ресурсу енергетичного устаткування. Проведено аналіз ультразвукових систем діагностики, що використовують алгоритми формування діагностичних зображень дефектів

матеріалів з використанням математичних методів. Рішення задачі в аналітичному вигляді передбачає вибір фізично реалізуємих хвильових процесів, деякий “штучний відбір”. Часто при завданні множинних граничних умов, хвильова задача виявляється настільки складною, що аналітичне рішення не може бути одержане [1].

Накопичений досвід в точному вирішенні хвильових акустичних задач практично неможливо використати для наших цілей, оскільки в самому загальному випадку недоказано існування і єдиність рішення оберненої задачі. Існує розділ математики – теорія розсіяння, в якій вирішується задача одержання інформації про неоднорідності середовища по відгукам на впливи різноманітної природи – оптичні, радіаційні, електромагнітні хвилі, УЗ-хвилі. Особливістю даного підходу є умова, що розмір області спостереження (реєстрації) в багато разів перевищує розмір неоднорідності середовища. Вводиться оператор розсіяння, який зв’язує хвильові потоки, що поступають в область спостереження, і хвильові потоки, що виходять з неї. В операторі розсіяння знаходиться вся інформація про внутрішню структуру середовища. Звичайно, неоднорідність представляють у вигляді розподілу щільності середовища або швидкості звуку в просторі. Теорія розсіяння вивчає асимптотичні рішення хвильового рівняння. Методами теорії розсіяння знаходять деякі опосередковані параметри неоднорідності [3].

В основному глибокі теоретичні роботи в даному напрямку відносяться до досліджень топології функціональних просторів, сформованих рішеннями хвильових рівнянь.

Доведено, що в середовищі з одним типом акустичних хвиль (газ, рідина), де оператор розсіяння є повним та однозначним, існує також єдиний обернений оператор. На жаль, на даний час не знайдено конструктивних рішень оберненої хвильової задачі у вигляді, придатному для точного визначення розміру і форми дефектів у металі. Існуюча неоднозначність інтерпретації ехосигналів від різноманітних джерел відбитої хвилі пов’язана з багатою динамікою хвильового рівняння для твердих тіл з декількома границями, або ж з криволінійними пограничними площинами. Доводиться йти на різноманітні спрощення теоретичної моделі для того, щоб з’явилась можливість рішення оберненої задачі [4; 5].

Задача ідентифікації ультразвукових зображень в існуючих системах, фактори, що впливають на якість та точність реконструкції зображень. Відомо, що просторове (поперечне) розрізнення в системах дефектоскопії визначається розмірами поперечного перетину звукового променя на різному віддаленні від вимірювальної ґратки, і акустичне зображення точкового об’єкту на різних глибинах зондування формується у вигляді мозаїки, яку складають зерна різних розмірів та різної яскравості. Причиною відмінності зерен між собою є різні розміри поперечного перетину звукового променя на різних глибинах зондування, змінення форми звукового сигналу і сигналів при розповсюдженні за рахунок затухання більш високочастотних компонентів Фур’є-спектру сигналів. При цьому амплітуда обвідної сигналу буде флюктуувати і вносити завади в формоване діагностичне зображення.

Варто зазначити, що досить складно забезпечити необхідний рівень адекватності інформації, реєстрованої з різних, послідовних точок синтезованої апертури для всіх точок аномалії, розташованої в сканованому шарі матеріалу. Теоретично, зондування повинно здійснюватися пласкою хвилею для всіх точок аномалії з синхронізацією процесу опромінення аномалії з різних точок синтезованої апертури. Оскільки при кожному зондуванні здійснюється тільки один вимір амплітуди і фази сигналу з заданого шару матеріалу (по часу затримки приходу сигналу) в такій системі якість зображення визначається обмеженнями амплітудної

голографії, що є досить впливовими і можуть визначати лише зовнішні контури аномалії в досить розмитому (не сфокусованому) вигляді.

Визначено, що важливими факторами, які впливають на якість реконструкції діагностичних зображень, зокрема є:

- флуктуації тривалості та амплітуди сумарного сигналу, які визначаються зміненням форми фронтів сигналів при розповсюдженні в досліджуваному середовищі;
- завади ревербераційної і нормальної природи.

В УЗ-апаратурі, призначеній для візуалізації дефектів, використовуються багатоелементні перетворювачі. Параметри УЗ-поля кожного перетворювача обираються такими, щоб захвачувалась область реконструкції зображення або більша її частина. В сучасних системах використовують системи сканування досліджуваної зони вузько сфокусованим променем. Використовуємо також припущення про те, що дефекти розміщені в дальній зоні УЗ-поля перетворювача. Це означає, що фронт УЗ-хвилі, що падає на елементарний відбивач – сферичний, і фронт відбитих хвиль, що реєструються приймальною антеною, також сферичний. Ця умова забезпечує розподіл інтегралів по фронту та по дальності.

Позначимо $f(I)$ – ехосигнал, який реєструється від нескінченно малого елемента відбиваючої поверхні dS дефекту.

$F(I)$ ки з точністю до постійного множника. Будемо вважати амплітуду сигналу $f(I)$ рівною одиниці, приймаючи, що в практичному використанні завжди можна настроїти чутливість приймального елемента приймальної антени; ехосигнали одержують у вигляді функцій часу. Функція $f(I)$ представляє собою імпульсний відгук системи на нескінченно малий відбивач. Сигнал $f(I)$ обмежений в часі і в просторі. Він відмінний від 0 в інтервалі часу $0 \div t_0$, відповідно в просторі $0 \div C \bullet t_0$. По традиції назвемо $f(I)$ функцією відгуку точкового джерела (ФВТД). Визначимо математичний опис відбивачів. Існують два основних підходи.

В першому випадку вважають, що акустичні характеристики об'єкту плавно змінюються в просторі. Виділяють розподіл швидкості звуку, затухання та коефіцієнту відбиття по об'єкту. Далі вибраний розподіл реконструюють в акустичне зображення.

В іншому випадку вважають, що об'єкт контролю представляє собою набір різких границь. Акустичні характеристики об'єкта (швидкість звуку, затухання) в зоні озвучення дефекту однорідні, їх відхилення в цих зонах незначні і їх можна не брати до уваги. Прийmemo модель різких границь в якості основної для побудови алгоритмів реконструкції зображень. Геометрично структуру об'єкту контролю (ОК) будемо представляти у вигляді просторової функції границь $I(r)$, яка дорівнює одиниці на границях ОК і на розсіюючі поверхнях дефекту, і дорівнює 0 в решті об'єму.

В алгоритмах реконструкції зображень зазвичай приймаються заходи для придушення “несанкціонованих” сигналів. Більш детальну інформацію про відбивачі (елементи аномалії) одержують за допомогою сканування об'єкту контролю в різних напрямках. В результаті одержують набір розподілу сигналів $F_i(L)$, – індекс, що характеризує положення сканера по відношенню до поверхні ОК. Далі здійснюється спільна обробка функцій $F_i(L)$, з метою реконструкції зображення відбивачів в площині сканування. Діагностичне зображення формується з відміток, зерен або плям різної яскравості і різних розмірів для одного і того ж точкового об'єкта, як з елементів мозаїки. Причиною цього є різна поперечна і поздовжня роздільна здатність на різних глибинах зондування. Тож, запропоновано відносну похибку реконструйованого ехоімпульсу використовувати як критерій якості реконструкції

діагностичних зображень, і виходячи з усього вищенаведеного, будемо вважати, що метод реконструкції діагностичних зображень є ефективними, якщо він забезпечує відповідність таким якісним вимогам:

- сталість до похибок вимірювання і чутливість до сигналів сфокусованих точок при наявності завад різної природи;
- можливість просторового та контрастного розрізнювання при відтворенні точок об'єкта в діагностичному зображенні;
- можливість фільтрації впливу завад ревербераційного та нормального типу;
- можливість обробки інформації в темпі поточного часу.

Дослідження процесу ідентифікації ультразвукових діагностичних зображень. Просторовий розподіл комплексних амплітуд виміряного поля відбитої звукової хвилі на відстані Z від об'єкту є дискретною звуковою голограмою об'єкту. Враховуючи лише фазову інформацію комплексних амплітуд, виміряних в вузлах вимірювальної ґратки, можна повністю відтворити акустичне зображення з точністю до сталої величини. У випадку фазових звукових голограм в вузлах вимірювальної ґратки реєструється тільки фаза розсіяного хвильового фронту, а амплітуді присвоюється стале значення, рівне, наприклад, одиниці.

Фазова інформація має важливе значення в акустичній голографії. На користь фазової інформації при відтворенні просторових сигналів зображення говорить той факт, що амплітуди високочастотних спектральних складових мають тенденцію до затухання при розповсюдженні в середовищі і спаду при віддаленні від центра апертури [1; 5].

В цілому можна зазначити, що фазова інформація в ультразвуковій візуалізації прокрашує поперечну розрізнявальну здатність системи і розрізнення деталей зображення на фоні дії сигналів-завад. Математична модель звукової голограми, що описує залежність виміряних значень комплексних амплітуд відбитого звукового поля від просторового роз-поділу комплексних амплітуд точково-подібних джерел в об'єктній площині. Математична модель звукової голограми може бути інтерпретована формулою дифракційного інтеграла, одержаного в результаті досліджень Кірхгофа, Френеля, Зоммерфельда, Релея, Гельмгольца явища дифракції хвиль в оптиці та акустиці [6].

Дифракційний інтеграл в формі Релея-Зоммерфельда записується у вигляді:

$$h(x_1, y_1, x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{I^{jk_{r_{01}}}}{r_{01}} \cos(\vec{n}, \vec{r}_{01}) \quad (1)$$

де $h = x_1, y_1, z_1$ – координати точок об'єктної площини $S = S_{\text{д.о.}}$; $S_{\text{д.о.}}$ – площа дифракційного отвору в непрозорому екрані; $P_0 = x_0, y_0, z_0$ – координати точок місцеположення ехоприймачів вимірювальної апертури; $U(P_0)$ – просторовий розподіл комплексних амплітуд акустичного поля в вузлах вимірювальної ґратки; $U(P_1)$ – комплексні амплітуди коливань звукового поля в об'єктній площині (поблизу об'єктної площини) S поперечного перетину звукового імпульсу на відстані z від площини голографування, S відповідає дифракційному отвору $S_{\text{д.о.}}$ у випадку оптичної дифракції на непрозорому екрані; θ – кут між нормаллю до площини апертури вимірювань і напрямком від точки об'єктної площини P_1 до точки на апертурі вимірювань P_0 ; λ – довжина хвилі; $j = \sqrt{-1}$; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; \vec{n} – нормаль до апертури вимірювань; \vec{r}_{01} – вектор, що характеризує довжину, і напрямком розповсюдження відбитої хвилі від точки P_1 до точки P_0 . Якщо в під інтегральному виразі (1) позначити через h

$$h(x_0, y_0; x_1, y_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{1}{r_{01}} \cos(\vec{n}, \vec{r}_{01}) \cdot I^{jk_{r_{01}}} \quad (2)$$

передатну функцію вільного простору, то вираз (2) запишеться у вигляді:

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{(z^2 + x_0^2 + y_0^2)} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I^{jk_{r_{01}}} \cdot U(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \quad (3)$$

Вираз (3) являє собою інтеграл згортки функції $U(x_1, y_1, z_1)$ в площині S перетину звукового імпульсу і передатної функції вільного простору h . З виразу (3) випливає, що дифракційний картина суми точкових джерел об'єктної площини S являється лінійною сумою точкових голограм, відповідних окремим джерелам коливань в об'єктній площині, а інформація про кожне точкове джерело об'єктної площини є представленою у всіх точках голограми і навпаки, кожна точка голограми містить інформацію про всі точки об'єктної площини. Модель звукової голограми достатньо адекватно описує відбите поле зондованого середовища, якщо середовище можна уявити у вигляді однорідної підкладки з випадково розподіленими в ній дискретними неоднорідностями середовища. Відомо, що математична модель розсіяння ультразвуку при розповсюдженні в такому середовищі являє собою об'ємний інтеграл суперпозиції сферичних хвиль з центрами в елементарних об'ємах досліджуваного середовища. Це положення є фундаментальною фізичною основою голограмних описів середовища (об'єкта) у відбитому акустичному полі. Вирішенню оберненої задачі знаходження поля комплексних амплітуд $U_1(x_1, y_1, z_1)$ повинна передувати побудова дискретної математичної апроксимаційної моделі звукової голограми, що враховує особливості реєстрації і апроксимації амплітудних та фазових даних звукової голограми $U_0(x_0, y_0, z_0)$.

Практично всі відомі методи обернення дифракційного інтеграла базуються на використанні моделі параксіального наближення Френеля з обмеженнями типу:

$$h(x_0, y_0; x_1, y_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{1}{r_{01}} \text{Cos}(\vec{n}, \vec{r}_{01}) \cdot I^{jk_{r_{01}}} \quad (4)$$

В даному випадку x_1, y_1 – розміри об'єктної площини поперечного перетину звукового імпульсу, x_0, y_0 – розміри апертури вимірювань.

Використання параксіальної моделі Френеля є вкрай проблематичним з викладених нижче причин:

- Малі значення апертури підносне Z негативно відбиваються на точності оцінювання відтворюваних значень інтенсивності ехосигналів в пікселях зображень внаслідок неортогональності Фур'є-перетворення просторового сигналу на обмеженій апертурі;

- Зі збільшенням вимірювальної апертури x_0, y_0 для обмежених значень Z обмеження апроксимацій Френеля на довжину і напрямки розповсюдження звукових хвиль $r_{10} = z$, $\theta = 0$ також не можуть бути виконаними.

Математична модель звукової голограми враховує фізичні співвідношення між величиною поперечного перетину об'єкта звукового імпульсу $d_{zв.ім.}$ і значеннями r_{10} і θ_{10} довжини і напрямків розповсюдження звукових хвиль від звукового імпульсу до приймачів вимірювальної апертури[6]. Це співвідношення типу:

$$U(x_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{z^2 + x_0^2} \cdot I^{jkz} \int_{-\infty}^{+\infty} I^{\frac{jk}{2z}(x_0 - x_1)^2} \cdot U(x_1) dx_1 \quad (5)$$

З урахуванням співвідношень (5) координати x_1, y_1 можна апроксимувати центром площини S зі сталими значеннями $x_1, y_1 = 0$ (рис. 1). Враховуючи залежність r_{10} і θ_{10} винятково від координат x_0, y_0 апроксимаційний вираз для формули дифракційного інтеграла (5) матиме вигляд:

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{(z^2 + x_0^2 + y_0^2)} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I^{jk_{01}} \cdot U(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \quad (6)$$

де $\frac{1}{j\lambda}$ – масштабний коефіцієнт, $\frac{z}{z^2 + x_0^2 + y_0^2}$ – функція втрати амплітуди ехосигналів при розповсюдженні під звукового імпульсу до ехоприймачів виміральної ґратки, що враховує їх просторове положення x_0, y_0 і відстань z .

Втрати амплітудних компонент голограми при розповсюдженні відновлюються згідно функції підсилення, оберненої до функції втрат амплітуди [4]. Фазова імпульсна передатна функція вільного простору h_ϕ з урахуванням (7) запишеться у вигляді:

$$h(x_0 - x_1, y_0 - y_1, z_0 - z_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{I^{jk_{01}[(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)(z_0 - z_1)]}}{r_{01}[(x_0 - x_1)(y_0 - y_1)(z_0 - z_1)]} \cdot \text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}_{01}) \quad (7)$$

При апроксимації в показнику експоненти (7) квадратного кореня лінійними членами степеневого ряду:

$$b = \left(\frac{x_0 - x_1}{z}\right)^2 + \left(\frac{y_0 - y_1}{z}\right)^2 \quad (8)$$

Вираз для апроксимованої фазової передатної функції матиме вигляд:

$$h(x_0, y_0; x_1, y_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{(\sqrt{z^2 + x_0^2 + y_0^2})^2} \cdot I^{jk_{01}} \quad (9)$$

В інтегральному вигляді з урахуванням (9) апроксимаційна модель звукової голограми матиме вигляд:

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{z^2 + x_0^2 + y_0^2} \cdot I^{jkz} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} U(x_1, y_1) \cdot I^{\frac{jk}{2z}[(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2]} dx_1, dy_1 \quad (10)$$

Апроксимаційна модель (10) вільна від обмежень (8) параксіальної моделі Френеля на апертуру вимірювань x_0, y_0 на довжину r_{10} , і напрямком розповсюдження θ_{10} звукових хвиль від точок неоднорідностей звукового імпульсу до ехоприймачів виміральної ґратки [5].

При достатньо великих значеннях апертури значно зростає максимальна частота гармоніки в просторовому Фур'є – спектрі голограми, і, як наслідок, зростає кількість точок дискретизації, необхідна для реєстрації високочастотних компонент спектра дискретної голограми у відповідності з теоремою дискретних вибірок Котельникова. З урахуванням низької точності відтворення сигналів в пікселях зображення, а також низького реалізацій показника якості, методи ОХФ і КФ не можуть використовуватись для реалізації обчислювальних процесів реконструкції голограмних зображень в голографічних системах високої розрізнувальної здатності. Перші експерименти з використанням квадратичних детекторів сигналів кутовий модуляції і реєстрацією інтенсивності інтерферируючих в площині голографування об'єктної і опорної когерентних світлових хвиль. При цьому, для реєстрації звукової голограми використовувалася вільна поверхня рідини, зчитування звукової голограми здійснювалося скануванням поверхні лазерним променем. Такого типу експерименти в звуковій голографії були складними, дорогими, чутливими до незначних механічних вібрацій. Відмінності в довжині хвиль звукового і оптичного діапазону в кілька порядків представляли додаткові труднощі при формуванні звукової голограми та реконструкції зображень.

В УЗ діагностиці для формування звукової голограми вимір амплітудно-фазових просторових спектрів здійснюється лінійними (одновимірними) або двовимірними

гратами з лінійними детекторами синхронного детектування в вузлах решітки. Послідовне вимірювання в вузлах решітки амплітуди і фази можна здійснювати в моменти часу, які визначаються реперними точками сигналу основною несучою частоти зондуючого сигналу, при цьому повинна бути забезпечена квазістаціонарним вимірювань: різниця ходу променів від будь-якої точки об'єктної площини до крайніх точок вимірювальної апертури повинна бути менше довжини зондуючого імпульсу [7].

Таким чином, процес ідентифікації діагностичних зображень складається з сукупності таких макрооперацій: фізичних процесів зондування і вимірювання амплітудно-фазових (фазових) параметрів вторинного звукового поля, комп'ютерних процесів формування звукової голограми, комп'ютерних обчислювальних процесів обробки фазових одновимірних або двовимірних масивів інформації з метою фільтрації сигналів-перешкод і вторинних дифракційних максимумів.

З властивостей лінійності інтегральних перетворень Фур'є, Френеля впливає, що голограмний опис двох і більше об'єктів дорівнює сумі таких для кожного об'єкта окремо, що мають однакові функції розсіювання і пропорційні розміри [8].

Моделі ехосигналів і алгоритми формування акустичних зображень є ключовими моментами реконструкції зображень. Зазначимо, що досить складно забезпечити необхідний рівень адекватності інформації, реєстрованої з різних, послідовних точок синтезованої апертури для всіх точок дефекту, розташованого в сканованому шарі матеріалу. Теоретично, зондування повинно здійснюватися плоскою зондуючою хвилею для всіх точок дефекту з синхронізацією процесу опромінення дефекту з різних точок синтезованої апертури. Оскільки при кожному зондуванні здійснюється тільки один вимір амплітуди і фази ехосигналу з заданого шару матеріалу (по часу затримки приходу ехосигналу) в такому випадку якість зображення визначається обмеженнями амплітудної голографії, що є досить впливовими і може визначати лише зовнішні контури дефекту в досить розмитому (не сфокусованому) вигляді. Розглянуті моделі, в основному, приймають до уваги лише амплітудні дані відбитого хвильового поля та побудовані на принципі інтерференції звукових хвиль. Все вищесказане дозволяє констатувати, що незалежно від алгоритму реконструкції відображення дефекту, він, по суті, є лише інтерпретатором дефекту, тобто на основі деяких принципів і уявлень про формування ехосигналів алгоритм здійснює розрахунок зображення. Тому завжди є доля вірогідності, що деякі дефекти не будуть представлені на зображенні, або навпаки можуть формуватися помилкові картини дефектів (артефакти).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Огир А.С. Новая информационная технология формирования голограммных акустических изображений высокого разрешения в системах ультразвуковой визуализации медицинского назначения. Электронное моделирование / А.С. Огир, В.В. Тарапата, Е.А. Огир. 2014. № 1. С. 49–57.
2. Огир А.С. О голографической системе визуализации медицинского назначения. Інформаційні технології : зб. наук. праць / А.С. Огир, В.В. Тарапата, Е.А. Огир. Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, 2006. Вип. 37. С. 3–6.
3. Огир Е.А. О компьютерной обработке томографических диагностических изображений. Інформаційні технології : зб. наук. праць. Вип. 32. Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, 2006. С. 36–41.
4. Огир О.О. Метод підвищення якості реконструкції діагностичних зображень на основі інтегральних перетворень. Электронное моделирование. 2019. № 4. С. 35–48.

5. Морозов А.В. Развитие методов акустической голографии и лазерной виброметрии для исследования колебаний ультразвуковых излучателей в жидкостях : дис. ... канд. физ.-мат. наук : спец. 01.04.06 / Андрей Викторович Морозов ; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Москва, 2006. 123 с.

6. Євдокимов В.Ф. Дослідження характеристик якості УЗ зображень та алгоритмів їх обробки. Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць / В.Ф. Євдокимов, О.С. Огір, О.О. Огір. Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, 2017. Вип. 80. С. 3–11.

7. Кайно Г. Акустические волны: устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов / Г. Кайно ; под ред. О.В. Руденко. Москва : Мир, 1990. 656 с.

8. Евдокимов В.Ф. Методы формирования изображений в системах ультразвуковой дефектоскопии. Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць / В.Ф. Евдокимов, Е.А. Огір, В.В. Душеба. Київ : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, 2018. Вип. 84. С. 3–16.

REFERENCES:

1. Ogir A.S. Novaya informatsionnaya tekhnologiya formirovaniya gologrammykh akusticheskikh izobrazheniy vysokogo razresheniya v sistemakh ultrazvukovoy vizualizatsii meditsinskogo naznacheniya [New information technology for the formation of high-resolution holographic acoustic images of ultrasound diagnostics for medical purposes] / A.S. Ogir. V.V. Tarapata. E.A. Ogir // Elektronnoye Modelirovaniye – Electronic Modeling. 2014. (1), 49–57.

2. Ogir A.S. O golograficheskoy sisteme vizualizatsii meditsinskogo naznacheniya [About holographic imaging system for medical purposes] / A.S. Ogir. V.V. Tarapata. E.A. Ogir // Informatsiyni tekhnologii: zb. nauk. prats. – K.: IPME im. G.YE. Pukhova NANU – Information technologies: collection of scientific works. – K. : PIMEE G. Pukhova NANU. 2006. № 37, 3–6.

3. Ogir A.S. O kvazistatsionarnom izmerenii linearizovannoy zvukovoy gologrammy v sootvetstvii s funktsiyey prostanstvenno-vremennykh toчек [Quasi-stationary measurement of linearized sound hologram in accordance with the function of space-time points] / A.S. Ogir // Modelyuvannya ta informatsiyni tekhnologii :zb. nauk. prats. – K. : IPME im. G.YE. Pukhova NANU. – Information technologies: collection of scientific works. – K.: PIMEE G. Pukhova 2006. № 20, 185–189.

4. Ogir O.O. Metod pidvishchennya yakosti rekonstruktsii diagnostichnikh zobrazen na osnovi integralnikh peretvoren [Method of improving the quality of reconstruction of diagnostic images based on integral transformations] / O.O. Ogir // Elektronnoye Modelirovaniye. – Electronic Modeling – 2019. № 4, 35–48.

5. Morozov A.V. Razvitiye metodov akusticheskoy golografii i lazernoy vibrometrii dlya issledovaniya kolebaniy ultrazvukovykh izluchateley v zhidkostiakh [Development of methods of acoustic holography and laser vibrometry for the study of oscillations of ultrasonic emitters in liquids] : dis. kand. fiz.-mat. nauk : spets. 01.04.06/ Andrey Viktorovich Morozov; Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M. V. Lomonosova. – Moscow State University. M. Lomonosov – M. 2006. – 123.

6. Yevdokimov V.F. Doslidzhennya kharakteristik yakosti UZ zobrazhen ta algoritmiv ikh obrobki [Research of quality characteristics of ultrasound images and algorithms for their processing] /V.F. Yevdokimov. O.S. Ogir. O.O. Ogir // Modelyuvannya ta informatsiyni tekhnologii : zb. nauk. prats. – K. : IPME im. G.YE. Pukhova NANU – Information technologies: Collection of scientific works. – K.: PIMEE G. Pukhova. 2017. № 80, 3–11.

7. Kayno G. Akusticheskiye volny: ustroystva. vizualizatsiya i analogovaya obrabotka signalov [Acoustic waves: devices, visualization and analog signal processing] / G. Kayno: pod redaktsiyey O.V. Rudenko – under the editorship of O.V. Rudenko – M: Mir. 1990. – 656.

8. Evdokimov V.F. Metody formirovaniya izobrazheniy v sistemakh ultrazvukovoy defektoskopii [Imaging techniques in ultrasonic flaw detection systems] /V.F. Evdokimov. E.A. Ogir. V.V. Dusheba // Modelyuvannya ta informatsiyni tekhnologii : zb. nauk. prats. – K. : IPME im. G.YE. Pukhova NANU – Information technologies: Collection of scientific works. – K.: PIMEE G. Pukhova 2018. №84, 3–16.

УДК 62

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.7>

АЛГОРИТМИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В АКРЕДИТОВАНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ У РАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ТА КЛІМАТИЧНОГО ВИДІВ ВПЛИВУ: ПРАКТИКА ТА ІННОВАЦІЇ

Чайковський С.Ю. – старший науковий співробітник
випробувальної лабораторії

Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

ORCID ID: 0000-0002-2891-0845

У статті виконано короткий аналіз впровадження алгоритмів випробувань технічних засобів у акредитованих лабораторіях механічних та кліматичних видів впливів. Для сертифікації технічних засобів відповідно до вимог технологічних регламентів використовуються алгоритми та випробувальне обладнання, що дозволяють відтворити у лабораторних умовах механічні та кліматичні впливи. Дослідження процесів виконання робіт випробувальних лабораторій показали, що головна роль у забезпеченні контролю якості та безпеки продукції, що випускається на ринок, належить співробітникам. Саме співробітники лабораторій припускаються помилок у технологічних регламентах проведення механічних та кліматичних видів впливу на продукцію, що тестується. Для мінімізації впливу людського фактора розглянуто впровадження алгоритму релевантної інформаційно-комунікаційної технології блокчейна. Застосування алгоритму на основі технології блокчейн забезпечує не лише достовірність та загальнодоступність результатів випробувань, а також їхню захищеність від несанкційованого втручання співробітників у випробувальні процеси. Показано, що алгоритм на основі блокчейна дозволить виключити фальсифікацію результатів випробувань за рахунок того, що згенеровані мітки за перевіреними параметрами технічного засобу з перешкодоустійкості і перешкодоємисії будуть автоматично зчитуватися з вимірювального обладнання і записуватися у відповідні блоки обробки запитів, систему управління серверами, що виготовила технічний засіб, який перевіряється. Алгоритм сертифікаційних випробувань на основі блокчейна може використовуватися регуляторами для спрощення процедури контролю та акредитації випробувальних лабораторій, виробниками продукції для скорочення витрат та відстеження процесів сертифікації технічного засобу та покупцями продукції для забезпечення їхньої довіри до сертифікованої продукції.

Ключові слова: випробування технічних засобів, механічні та кліматичні впливи, блокчейн, технічні регламенти, електромагнітна сумісність, сертифікаційні випробування.

Chaikovskiy S.Yu. Algorithms for testing technical equipment in accredited laboratories using mechanical and climate types of influence

The article provides a brief analysis of the implementation of testing algorithms for technical means in accredited laboratories of mechanical and climatic effects. For the certification of technical means in accordance with the requirements of technological regulations, algorithms and test equipment are used, which make it possible to reproduce mechanical and climatic influences in laboratory conditions. Studies of the processes of performing the work of testing laboratories have shown that the main role in ensuring quality control and safety of products released to the market belongs to employees. It is the laboratory staff who make mistakes in the technological regulations for carrying out mechanical and climatic influences on the tested products. To minimize the influence of the human factor, the implementation of the algorithm of the relevant information and communication technology blockchain is considered. The use of an algorithm based on blockchain technology ensures not only the reliability and availability of test results, but also their protection from unauthorized interference of employees in testing processes. It is shown that the blockchain-based algorithm will eliminate the falsification of test results due to the fact that the generated tags according to the tested parameters of the technical means for noise immunity and noise emission will be automatically read from the measuring equipment and written

to the corresponding request processing units, the server management system and to the transit tails of the company. Which produced the tested technical device. A blockchain-based certification testing algorithm can be used by regulators to simplify the control and accreditation of testing laboratories, product manufacturers to reduce costs, and track hardware certification processes and product buyers to ensure their trust in certified products.

Key words: *tests of technical means, mechanical and climatic influences, blockchain, technical regulations, electromagnetic compatibility, certification tests.*

Вступ. Технічні засоби перевіряються в акредитованих лабораторіях за спеціально розробленими та прийнятими до застосування алгоритмами проведення їх випробувань. Таким чином проводиться сертифікація технічних засобів, на підставі результатів якої приймаються рішення про початок або зупинення їхнього серійного виробництва. Також в акредитованих лабораторіях перевіряється виробнича продукція, для якої необхідний сертифікат, що дозволяє виробництво. Усі види технічних засобів повинні відповідати заданим вимогам технічного рівня та якості. Необхідні характеристики визначаються за комплексом показників, одержаних у результаті досліджень в умовах, що відповідають їх використанню.

Випробування технічних засобів в акредитованих лабораторіях ґрунтується на стандартних алгоритмах виконання операцій, формах подання інформації, правильності результатів. Якість інформації за результатами визначається показниками вибраної ідеології алгоритмів та технологічних способів їх реалізації. Випробування проводяться за заданими та затвердженими стандартними алгоритмами. Оцінка зводиться до відповідності випробувального способу цим алгоритмам. Показники якості випробувань складаються з оцінок стану технічних засобів, організації процесу випробувань та роботи персоналу. Технічний рівень та якість продукції оцінюються за сукупністю показників, здобутих у результатах випробувань. Отримані результати показують технічний рівень та якість виготовленої продукції для прийняття рішень щодо встановлення нової продукції на виробництво, продовження або закінчення серійного виробництва.

Постановка завдання. Найбільший практичний інтерес становлять сертифікаційні дослідження, що стосуються розробки та виробництва продукції, на види відтворюваних впливів, з яких найбільш затребувані: механічні та кліматичні впливи. Зазначимо, що сертифікація продукції має проводитися в акредитованих лабораторіях за затвердженими алгоритмами на спеціальному обладнанні.

Мета дослідження. Стаття має на меті подати короткий опис алгоритмів випробувань, що можуть застосовуватися в акредитованих лабораторіях та основі інноваційного способу, що ґрунтується на застосуванні технології блокчейн.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Випробування технічних засобів на механічні впливи поділяються на випробування на міцність та стійкість об'єкта дослідження. Дослідження виробів на міцність проводяться для визначення значень, що спричиняють зміну форм об'єкта або призводять до його руйнування. Випробування виробів на стійкість робляються для визначення здатності об'єкта зберігати параметри стану у разі впливу на нього певних зовнішніх впливів у межах встановлених нормативів експлуатації. Вплив на вироби кліматичних факторів залежить від географічного місця експлуатації обладнання, що впливає на придатність використання виробу. Випробування можуть проводитись як у реальних, так і змодельованих умовах. Умови досліджень задаються алгоритмами та підтримуються з певною точністю під час обстеження. Реальні умови досліджень практично завжди є номінальними, оскільки встановити їх параметри абсолютно неможливо. Результат визначається точністю проведення випробувань,

що демонструє близькість результатів до справжніх показників об'єкта у певних умовах експлуатації.

До складу засобів випробувань входять: засоби відтворення, засоби вимірювання та пристрої, без чого неможливо провести випробування. Найважливішим видом засобів випробувань є спеціалізоване випробувальне обладнання, що відтворює умови випробувань: механічні та кліматичні навантаження.

Нині сертифікація технічних засобів є складним процесом, що займає тривалий час. Над цим працює Міжнародна Електротехнічна Комісія (IEC), що проводить і публікує апробовані й затверджені Технічним комітетом міжнародні стандарти, є основним інструментом, на який можуть посилалися постачальники для виконання основних вимог [1]. Складність і тривалість процесу визначається протоколом випробувань, у якому міститься безліч параметрів, кожний із яких вимагає перевірки на відповідному устаткуванні. У разі великої кількості замовлень на випробування технічних засобів може постраждати якість протоколів випробувань, які впливають на результати сертифіката відповідності продукції вимогам показників. Через необхідність високої швидкості виконання робіт можуть виникнути помилки у показниках, отриманих у випробувальних процесах. Запобіганню під час проведення сертифікаційних випробувань технічних засобів можливих помилок, збільшення швидкості проведення випробувань за належної якості забезпечує інноваційна інформаційно-комунікаційна технологія блокчейн.

Визначення поняття «блокчейн» першим запропонував Дон Тепскотт, який у роботі зі своїм сином Алексом визначає його як розподілений реєстр, в якому відображено загальне уявлення мережі про кожну транзакцію, здійснену коли-небудь; на їхню думку, цей реєстр можна запрограмувати на збереження практично будь-якої цінної та важливої інформації для людства, поданої у вигляді коду [2]. Мелані Свон, засновник Інституту блокчейн-досліджень, вважає, що блокчейн – це нова організаційна парадигма для координації будь-якого виду людської діяльності в електронній сфері [3]. Наступні дослідники визначають блокчейн як відкриту багатofункціональну децентралізовану базу даних [4], що містить інформацію про всі транзакції [5], перевірені та затверджені учасниками, захищену за допомогою методів криптографії комп'ютерної системи [6].

Результати роботи. Застосування блокчейн-технології можливе у сфері сертифікації. Технологія блокчейн є новим способом зберігання даних та перевірки їх цілісності [7; 8]. Блокчейн часто розглядається як розподілена база даних, що складається з кількох блоків окремих транзакцій [9]. Приєднані один до одного блоки становлять повну історію транзакцій [10]. Після того, як блок включений у ланцюжок, змінити його неможливо без зміни всіх наступних блоків (рис. 1).



Рис. 1. Спрощена схема блокчейна

Лише дані з вимірювального обладнання вносяться та зберігаються в ланцюжок блоків, після цього вони не можуть бути змінені або видалені. Нижче подаємо організацію та склад робіт за технологією блокчейн.

1. Розробники та системні адміністратори мережі створюють необхідні розробки рішень щодо реалізації алгоритму сертифікаційних випробувань, контролю та забезпечення його безперебійної роботи.

2. Органи із сертифікації та випробувальні лабораторії (центри із сертифікації) безпосередньо наповнюють алгоритм даними щодо необхідних процедур для сертифікації технічних засобів та проведення випробувань продукції на відповідність нормам технічних регламентів.

3. Виробники продукції вносять до алгоритму експлуатаційні документи на продукцію, що підлягає сертифікації, потім відстежують, на якому етапі знаходиться сертифікація технічного засобу в рамках єдиного інформаційного простору. Перші три групи учасників блокчейн-алгоритму матимуть такий вид доступу до мережі, який дозволяє вносити дані.

Однак особливість роботи такої системи полягатиме у тому, що результати випробувань продукції, що передаються у систему вимірювального обладнання, неможливо відредагувати. Покупці сертифікованої продукції, створивши особистий обліковий запис, зможуть отримати доступ до публічного ключа блокчейна, що містить інформацію про результати сертифікаційних випробувань на придбану продукцію.

Другий найпростіший варіант доступу до алгоритму – використання сертифікованої продукції QR-коду. За допомогою мобільного телефону, просканувавши QR-код, покупцеві буде відкритий доступ до того місця блокчейна, в якому міститься інформація про сертифікат на цю продукцію та детальна інформація про результати проведених випробувань.

Переваги використання розробленого алгоритму сертифікаційних випробувань на основі технології блокчейн:

- підвищення достовірності лабораторних випробувань за рахунок мінімізації участі людського фактора у разі передачі даних з приладів;
- скорочення часу на проведення сертифікаційних випробувань;
- децентралізоване, довгострокове зберігання результатів сертифікації;
- забезпечення оперативного доступу до результатів випробувань продукції з боку регуляторів, виробників та покупців технічних засобів;
- зниження часу та витрат випробувальної лабораторії на створення регулярної звітності та проходження процедур з акредитації;
- реалізація простежуваності здійснюваних процедур щодо проведення сертифікаційних випробувань технічних засобів.

Застосування алгоритму на основі технології блокчейн забезпечує не лише достовірність та загальнодоступність результатів випробувань, а також їхню захищеність від несанкційованого втручання співробітників у випробувальні процеси.

Висновки. Практика роботи з різними алгоритмами для випробування технічних засобів під час сертифікації показала їхню складність та тривалість. Для контролю справжності оформлених сертифікатів відповідності пропонується створення єдиного реєстру сертифікованої продукції, що перебуває у вільному доступі, разом з інформацією про результати досліджень. Для забезпечення наочності та достовірності пропонується використовувати технологію блокчейн, яка може стати інструментом довіри для сфери сертифікації. Блокчейн дозволить виключити фальсифікацію результатів випробувань за рахунок того, що згенеровані мітки за перевіреними параметрами технічного засобу по перешкодостійкості

і перешкодоємисії з вимірювального обладнання автоматично потрапляють у відповідні блоки алгоритму-блокчейн, які, своєю чергою, обробляються у системі обробки запитів компанії, що виготовила об'єкт дослідження. Відповідно, результати випробувань зберігатимуться в блокчейні відразу у кількох місцях і змінити ці дані буде неможливо. Практична значущість розробки блокчейн-алгоритму для поведінки випробувань технічних засобів вигідна для виробників та покупців сертифікованих виробів. Завдяки тому, що продукти знаходяться у єдиному інформаційному просторі, є можливість відстежити процедури сертифікації, таким чином, забезпечується достовірність виявлених результатів, підвищується довіра покупців до продукції, скорочуються вартість та час проведення досліджень, а регулятори наближаються до статусу учасників процесу сертифікації технічних засобів.

На підставі застосування в алгоритмах випробувань технічних засобів різного призначення методів та процесів, що базуються на комп'ютерних технологіях, прогнозується перспектива подальшого розвитку в вищенаведеному напрямі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. New key standards for testing. *IEC (International Electrotechnical Commission)*. URL: <https://www.iec.ch/blog/new-key-standards-testing> (дата звернення: 12.11.2021).
2. Tapskott D., Tapskott A. *The Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. New York : Penguin Random House. 2016. 348 p.
3. Swan M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media Inc., 2015, 152 p.
4. Kshetri N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*. 2018. Vol. 39. Pp. 80–89. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005.
5. Chaudhuri A., Dukovska-Popovska I., Subramanian N., Chan H., Bai R. Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature review. *International Journal of Logistics Management*. 2018. Vol. 29, No. 3. P. 839–861. DOI: 10.1108/ijlm-03-2017-0059.
6. Stathakopoulous C., Cachin C. Threshold signatures for blockchain systems. *IBM Research*. Zurich : Swiss Federal Institute of Technology, 2017. 42 p.
7. Rosic A. Smart Contracts: The Blockchain Technology That Will Replace Lawyers. *Blockgeeks*. URL: <https://blockgeeks.com/guides/smart-contracts/> (дата звернення: 12.11.2021).
8. Christidis K., Devetsikiotis M. Blockchains and smart contracts for the Internet of things. *IEEE Access*. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2566339.
9. Gausdal A.H., Czachorowski K.V., Solesvik M.Z. Applying Blockchain technology: evidence from Norwegian companies. *Sustainability*. 2018. Vol. 10(6). DOI: 10.3390/su10061985.
10. Ratul A., Megat F.Z., Nazmus S. Enhanced Blockchain transaction: a case of food supply chain management. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020. Vol. 15. Iss. 1. P. 99–106. DOI: 10.36478/jeasci.2020.99.106.

REFERENCES:

1. New key standards for testing (September 16, 2020). *IEC (International Electrotechnical Commission)*. Retrieved from: <https://www.iec.ch/blog/new-key-standards-testing> (Last accessed: 12.11.2021).
2. Tapskott, D., Tapskott, A. (2016). *The Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. New York: Penguin Random House. 348 p.
3. Swan, M. (February 2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media, Inc. 152 p.

4. Kshetri, N. (April 2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005.
 5. Chaudhuri, A., Dukovska-Popovska, I., Subramanian, N., Chan, H., & Bai, R. (2018). Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature review. *International Journal of Logistics Management*, 29(3), 839–861. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2017-0059>.
 6. Stathakopoulou, C., & Cachin, C. (2017). Threshold Signatures for Blockchain Systems. *IBM Research*. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology, 2017. 42 p.
 7. Rosic, A. (November 25th, 2020). Smart Contracts: The Blockchain Technology That Will Replace Lawyers. *Blockgeeks*. URL: <https://blockgeeks.com/guides/smart-contracts/> (Last accessed: 12.11.2021).
 8. Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (May 10th, 2016). Blockchains and smart contracts for the Internet of things. *IEEE Access*, 4, 2292–2303. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2566339.
 9. Gausdal, A. H., Czachorowski, K. V., & Solesvik M. Z. (2018). Applying Blockchain technology: evidence from Norwegian companies. *Sustainability*, 10(6), 1985. DOI: 10.3390/su10061985.
 10. Ratul, A., Megat, F.Z., & Nazmus, S. (2020). Enhanced Blockchain transaction: a case of food supply chain management. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(1), 99–106. DOI: 10.36478/jeasci.2020.99.106.
-

УДК 004.891.2

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.8>

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ У ТУРИСТИЧНОМУ БІЗНЕСІ

Шаров С.В. – кандидат педагогічних наук,
завідувач кафедри комп'ютерних наук
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
ORCID ID: 0000-0001-5732-9980

Лубко Д.В. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
ORCID ID: 0000-0002-2506-4145

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

Статтю присвячено аналізу основних напрямів використання інтелектуальних систем у туристичному бізнесі. Зазначається, що в умовах пандемії пошук шляхів підвищення конкурентоспроможності серед туристичних операторів є дуже актуальною проблемою. Виявлено, що підвищення ефективності туристичного бізнесу досягається через введення в дію нових форм і видів туристичної діяльності (це, зокрема, віртуальні представництва, спеціалізовані маршрути, контекстний маркетинг тощо), упровадження сучасних програмних комплексів, вебсервісів, мобільних додатків. Їх використання дає можливість забезпечити цифровізацію туристичної галузі, сформувати єдиний туристичний інформаційний простір, розвинути е-туризм тощо. Здійснено огляд можливостей окремих типів інтелектуальних систем, що працюють на різних апаратних платформах. Їх використовують для формування екскурсійних маршрутів з урахуванням побажань різних категорій туристів, надання клієнтам релевантної інформації про туристичні об'єкти, місця проживання та харчування залежно від їх місцезнаходження, обчислення фінансових затрат на туристичний маршрут тощо. У такий спосіб забезпечується інформаційна підтримка кожного туриста, підвищується якість його обслуговування. Виявлено, що інтелектуальні системи використовують бази даних та бази знань для збереження інформації про вік, стать, сімейний стан туриста, його маршрут, відвідані ним туристичні об'єкти і їх кількість, обсяг витрачених ним грошей тощо. Проаналізовані дані використовуються для формування якісних рішень та відображення персоналізованої туристичної інформації. Крім того, для підвищення функціональності в інтелектуальних системах використовуються сторонні вебсервіси (Google Maps, GPS-навігація). У перспективі передбачається сформувати вимоги до розроблення інформаційної системи оператора туристичного агентства та здійснити практичну реалізацію цього завдання.

Ключові слова: туризм, туристична діяльність, інтелектуальні системи, штучний інтелект.

Sharov S.V., Lubko D.V., Zynovieva O.H. The use of intelligent systems in the tourism industry

The article analyzes the main directions of using intelligent systems in the tourism industry. It is noted that finding the ways to increase competitiveness among tour operators is a very important issue in times of the pandemic. It was found that increasing the efficiency of the tourism industry is achieved through the introduction of new forms and types of tourism activities (virtual

offices, specialized routes, contextual marketing, etc.), as well as through the implementation of modern software, web services, mobile applications. Their use allows us to digitize the tourism industry, to form a consolidated tourist information space, to develop E-tourism, etc. The authors gave an overview of the capabilities which are characteristic of certain types of intelligent systems running on different hardware platforms. They are used to develop excursion routes while taking into account the preferences of different categories of tourists; they provide customers with relevant information about tourist attractions, accommodation, food and beverage depending on their location; also, they calculate the financial costs of the tourist route, etc. In such a way, personalized information support for each tourist is provided and the quality of service is improved. It was found that the intelligent systems use databases and knowledge bases to store information about the age, gender, and marital status of a tourist, as well as about the route, tourist attractions and their number, the amount of money spent, and so on. The analyzed data are used to form quality solutions and display personalized tourist information. Moreover, additional web services (Google Maps, GPS-navigation) are used to increase functionality of the intelligent systems. In the future, it is planned to form the requirements for the development of the information system that can be used by the travel agency operator and to implement it in practice.

Key words: tourism, tourism activities, intelligent systems, artificial intelligence.

Постановка проблеми. Туристичний бізнес залишається одним із важливих напрямів економічного зростання держави. Він сприяє розвитку готельно-ресторанного бізнесу та інфраструктури туристичних об'єктів, появі нових форм і видів туристичної діяльності. В умовах пандемії серед туристичних провайдерів гострою стає проблема пошуку ефективних шляхів підвищення власної конкурентоспроможності серед аналогічних підприємств.

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (далі – ІКТ) поряд із соціальними, економічними та географічними чинниками надає широкий діапазон можливостей для реалізації та забезпечення туристичної діяльності. Перспективним напрямом підвищення ефективності туристичного бізнесу є використання сучасних програмних комплексів для інформаційної підтримки туристичної діяльності, зокрема інтелектуальних систем. Їхні потужні можливості, що стосуються інтелектуального аналізу отриманої інформації та формування на цій основі якісних рішень, дадуть змогу забезпечити інформаційну підтримку та персоналізований підхід до формування відпочинку туристів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний стан туристичного й ресторанного бізнесу під час пандемії COVID-19 досліджено в роботі І. Смірнова та О. Любіцевої [1]. Дослідження О. Боднарук, Н. Кампова присвячені аналізу основних видів інновацій, що ефективно впливають на розвиток туристичного бізнесу [2; 3]. У праці В. Білозубенко та співавторів здійснюється аналіз основних напрямів застосування інформаційно-комунікаційних технологій у туристичній галузі [4]. У роботах багатьох науковців повідомляється про розроблення різноманітних програмних засобів із використанням елементів штучного інтелекту, зокрема: інтелектуального вебсервісу (Є. Буров, А. Городецька [13]), інтелектуальної системи для персонального комп'ютера (О. Артеменко, В. Єгорова, В. Федченко [12]), інтелектуальної вебсистеми (Н. Сенюк, Я. Кісь, В. Каркульовський [7]), інтелектуальної мобільної системи (В. Пасічник, В. Савчук [14]), інтелектуальної системи для підтримки прийняття рішень (А. Штїммерман, О. Степаненко [10]). Водночас потребує уваги аналіз напрямів застосування інтелектуальних систем для підвищення ефективності туристичної діяльності та виокремлення спільних характеристик.

Постановка завдання. Метою статті є висвітлення основних напрямів використання інтелектуальних систем у туристичному бізнесі на прикладі конкретних програмних продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Туристичний бізнес є важливим напрямом економічного розвитку державної та світової економіки, зменшення безробіття, культурного розвитку суспільства, розширення регіональних і світових зв'язків тощо. Розвитку туристичного бізнесу сприяє збільшення чисельності населення, покращення фінансових можливостей громадян, збільшення вільного часу в частини населення, розвиток транспортних послуг, відкриття кордонів між державами, покращення інфраструктури міст і туристичних об'єктів тощо.

Останнім часом туристичний бізнес перебуває в певному кризовому стані внаслідок поширення коронавірусної інфекції. Тому перед туристичними провайдерами постало питання пошуку нових форм туристичної діяльності, нових способів залучення та обслуговування клієнтів.

У відповідь на це сьогодні з'явилися такі нові форми туристичного бізнесу, як «воркейши», «цифрові кочівники», «тревел-бульбашки» тощо [1]. Крім того, дієвим засобом збільшення конкурентних переваг серед аналогічних підприємств туристичної галузі є впровадження технологічних [2] або техніко-технологічних [3] інновацій. До переваг використання ІКТ у туристичному бізнесі можна віднести таке:

- точну і своєчасну інформацію про туристичні об'єкти, маршрути та іншу супровідну інформацію як запоруку задоволення туристів [3], а також збільшення кількості потенційних клієнтів конкретного провайдера;
- зниження завдяки засобам цифрового зв'язку вартості зв'язку, обробки поточної інформації, що безпосередньо впливає на формування собівартості туристичної подорожі;
- оперативне реагування на зміни в туристичному маршруті за рахунок використання актуальної інформації, доступної на електронних ресурсах;
- підвищення ефективності управлінських рішень і полегшення бізнес-аналітики [4];
- можливість електронного продажу квитків на різні види транспорту;
- інтернет-маркетинг та таргетовану рекламу туристичних маршрутів;
- організацію віртуальних турів, створення віртуальних туристичних агенцій.

До ІКТ, які сприяють підвищенню ефективності туристичної галузі, належать вебсайти, зокрема соціальні мережі; різноманітні мультимедіа, зокрема анімація, відео- й фотоконтент; мобільні технології, інтелектуальні середовища, зокрема Smart City Tourism, Industry 4.0 тощо [4]. Досить популярними є різноманітні мобільні програми-гід, туристичні інформаційні системи, онлайн-служби та електронні системи бронювання, а також різноманітні електронні ресурси, зокрема представництва туристичних провайдерів. Залежно від призначення вони містять інформацію про туристичні об'єкти, маршрути, їхні особливості й вартість, цікаву інформацію та новини туристичної галузі тощо.

Упровадження ІКТ у туристичну діяльність забезпечує діджиталізацію туристичної галузі та збільшення її фінансової спроможності. Процес цифровізації дасть можливість відійти від аналогових носіїв інформації, широко використовувати цифрові носії та гаджети з метою одержання актуальної і якісної інформації про туристичні об'єкти [5], маршрути, туристичних провайдерів, ціни тощо. Із часом поєднання цифрових засобів, джерел інформації, туристичної діяльності приведе до формування єдиного туристичного інформаційного простору [6] у вигляді вебсайтів, електронних систем різного типу, різноманітних баз даних і знань тощо.

Дослідники справедливо звертають увагу на значення інформаційного забезпечення в організації туристичної діяльності, що дає змогу з'єднати виробників та постачальників туристичного продукту [7]. Інформаційна підтримка може

здійснюватися за допомогою інформаційних систем і баз даних, а також інтелектуальних систем, що здатні залежно від попередніх станів системи та вхідних інформаційних потоків змінювати свою поведінку та формувати ефективні рішення. До основних структурних елементів інтелектуальних систем входять блок накопичення знань, блок прийняття рішень, блок забезпечення спілкування з користувачем, блоки утворення нових знань, навчання [8] тощо. Розглянемо декілька прикладів інтелектуальних систем, які працюють на різних платформах.

Збереження, обробку та управління інформацією, що використовується в туристичному бізнесі, можна реалізувати засобами відповідної інтелектуальної туристичної системи. Складниками такого програмного продукту можуть бути декілька підсистем для представлення інформації на вебресурсі, адміністрування, відображення інформації на карті, а також декілька баз даних (графічна й інформаційна) [7].

Варто зазначити, що бази даних є однією з важливих складових частин інформаційних систем [9], а бази знань – інтелектуальних систем. Залежно від функціональних можливостей програмного продукту, можливостей забезпечення багатокористувацького режиму використовуються різні бази даних і знань. Так, наприклад, для невеликих інформаційних систем туристичного бізнесу достатнім буде використання реляційної бази даних Access. Для багатокористувацької інформаційної системи доцільно використовувати розподілені бази даних MySQL, MSSQL, Oracle. У складних інтелектуальних системах використовуються сховища даних та відповідні інструменти для роботи з великими даними [10], бази знань, засновані на онтологічному підході [11], семантичних, фреймових, логічних, продукційних [8] та інших моделей представлення знань.

Одним із факторів якісно проведеної екскурсійної групи є чітко спланований маршрут екскурсії, де передбачені місця відпочинку, туалети, кафетерії, відсутнє повторне відвідування однакових туристичних об'єктів тощо. Крім того, важливим фактором під час планування екскурсійного маршруту є врахування інтересів туристів, їхніх вікових можливостей. Зазначену інформацію можна збирати, зберігати та обробляти за допомогою відповідних програмних засобів, зокрема інтелектуальної системи аналізу екскурсійних маршрутів. Їх використання дасть змогу створювати персоналізовані екскурсійні маршрути з урахуванням побажань різних категорій туристів. У роботі О. Артеменко, В. Єгорової, В. Федченка повідомляється про можливість саме такого програмного продукту, функціональні можливості якого засновані на використанні анкет туристів, що обробляються та заносяться в базу даних із метою подальшого аналізу [12]. Розроблена інтелектуальна система накопичує інформацію про вік, стать, сімейний стан туристів, кількість відвіданих ними туристичних об'єктів, кількість витрачених ними фінансів тощо.

Крім додатків для персональних комп'ютерів, досить часто використовуються різноманітні вебсервіси та мобільні застосунки. Наприклад, у роботі Є. Бузова та А. Городецької описано модель інформаційного туристичного сервісу на мобільній платформі, призначеного для надання користувачеві релевантної інформації у зручному для нього вигляді залежно від геолокації туриста та контексту ситуації. Як зазначають розробники цього інформаційного сервісу, його розроблення повинне передбачати використання онтологій для семантично інтерпретованого доступу до інформації, розроблення методів опрацювання контекстної інформації, обробки поточної ситуації тощо. У межах роботи сервісу обробляється така контекстна інформація, як маршрут, кількість учасників, туристичні об'єкти, координати провайдерів, місце розміщення туриста. Зазначена інформація враховується

у процесі формування переліку особистісних уподобань туриста, які використовуються в ситуаційних моделях [13].

Групою дослідників було започатковано проєкт інтелектуальної інформаційної системи, що працює на мобільній платформі та забезпечує туристичні маршрути на Закарпатті й у місті Львові. До функціональних можливостей, які повинен реалізовувати мобільний асистент туриста, належить формування персоналізованої інформації щодо маршрутів, вибору житла, транспорту, обчислення фінансових витрат на туристичну подорож тощо. Крім того, передбачається використання бази даних, бази знань для збереження інформації, сервісів Google Maps, Google StreetView [14] тощо.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, туристична галузь продовжує розвиватися, незважаючи на пандемію COVID-19. У цих умовах з'являються нові форми туристичної діяльності – із застосуванням мережі Інтернет та засобів ІКТ. Пандемія позитивно вплинула на розвиток е-туризму та діджиталізацію туристичної галузі. Для підвищення якості туристичної діяльності розробляються різноманітні інтелектуальні вебсервіси, інтелектуальні системи для персонального комп'ютера, інтелектуальні мобільні системи, інтелектуальні системи для підтримки прийняття рішень тощо.

В основі роботи будь-якої інформаційної системи, зокрема інтелектуальної, лежить використання бази даних або бази знань залежно від її функціональних можливостей. Для формування якісних рішень та відображення персоналізованої інформації інтелектуальні системи зазвичай використовують інформацію про вік, стать, сімейний стан туриста, його маршрут, відвідані ним туристичні об'єкти та їх кількість, обсяг витрачених ним грошей на туристичний маршрут тощо.

У перспективі передбачається сформувати вимоги до розроблення інформаційної системи оператора туристичного агентства та здійснити практичну реалізацію цього завдання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Смірнов І., Любіцева О. Туристичний бізнес під час пандемії COVID-19: світовий та український досвід. *Вісник Київського національного університету культури і мистецтв. Серія «Туризм»*. 2020. № 2(3). С. 196–208.
2. Роль інновацій для розвитку туризму / Н. Кампов, Л. Медвідь, О. Касинець, С. Махлінець. *Науковий вісник Мукачівського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2017. № 23(18). С. 246–255.
3. Боднарук О. Використання інноваційних маркетингових технологій в туристичній індустрії. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія «Економічні науки»*. 2019. № 37. С. 97–104.
4. Комунікаційні та інформаційні технології в туризмі: теоретико-методичний аспект / В. Білозубенко, М. Разінькова, Н. Небаба, О. Ятчук. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Економічні науки»*. 2020. № 3(147). С. 48–56.
5. Гаврилюк О. Пандемічна криза як каталізатор діджиталізації туристичної індустрії. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія «Економічні науки»*. 2021. № 60. С. 22–29.
6. Мешко Н., Фалько Є. Розвиток туристичного бізнесу в умовах інформатизації світової економіки. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2014. № 2. С. 114–120.
7. Сенюк Н., Кісь Я., Каркульовський В. Інтелектуальні туристичні системи управління та збереження інформації. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи проєктування. Теорія і практика»*. 2006. № 564. С. 31–34.

8. Лубко Д., Шаров С. Методи та системи штучного інтелекту : навчальний посібник. Мелітополь : ФОП Однорог Т.В., 2019. 264 с.
9. Шаров С., Осадчий В. Бази даних та інформаційні системи : навчальний посібник. Мелітополь : Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. 352 с.
10. Штїммерман А., Степаненко О. Застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у галузі українського туризму. *АІПІТ – 2020* : збірник тез Всеукраїнської конференції молодих учених, м. Маріуполь, 24 листопада 2020 р. С. 30–33.
11. Литвин В. Моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2011. № 2(25). С. 93–101.
12. Артеменко О., Єгорова В., Федченко В. Інтелектуальна система аналізу екскурсійних маршрутів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Інформаційні системи та мережі». 2015. № 814. С. 380–386.
13. Буров Є., Городецька А. Інтелектуальний туристичний сервіс з опрацюванням контексту ситуації. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Інформаційні системи та мережі». 2010. № 689. С. 27–35.
14. Пасічник В., Савчук В. Інтелектуальна система «Мобільний інформаційний асистент туриста»: функціональні та технологічні особливості. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Інформаційні системи та мережі». 2015. № 832. С. 225–241.

REFERENCES:

1. Smirnov, I., Liubitseva, O. (2020). Turystychnyi biznes pid chas pandemii COVID-19: svitovyi ta ukraïnskyi dosvid [Tourism business during the COVID-19 pandemic: world and Ukrainian experience]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu kultury i mystetstv. Seriiia "Turyzm" – Bulletin of Kyiv National University of Culture and Arts. Series "Tourism"*, no. 2(3), pp. 196–208 [in Ukrainian].
2. Kampov, N., Medvid, L., Kasynets, O., Makhlynets, S. (2017). Rol innovatsii dlia rozvytku turyzmu [The role of innovation for tourism development]. *Naukovyi visnyk Mukachivskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economic Sciences"*, no. 23(18), pp. 246–255 [in Ukrainian].
3. Bodnaruk, O. (2019). Vykorystannia innovatsiinykh marketynhovykh tekhnolohii v turystychnii industrii [The use of innovative marketing technologies in the tourism industry]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Bulletin of the Azov State Technical University. Series "Economic Sciences"*, no. 37, pp. 97–104 [in Ukrainian].
4. Bilozubenko, V., Razinkova, M., Nebaba, N., Yatchuk, O. (2020). Komunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii v turyzmi: teoretyko-metodychnyi aspekt [Communication and information technologies in tourism: theoretical and methodological aspect]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Series "Economic Sciences"*, no. 3(147), pp. 48–56 [in Ukrainian].
5. Havryliuk, O. (2021). Pandemichna kryza yak katalizator didzhytalizatsii turystychnoi industrii [Pandemic crisis as a catalyst for digitalization of the tourism industry]. *Zbirnyk naukovykh prats Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Collection of scientific works of Cherkasy State Technological University. Series "Economic Sciences"*, no. 60, pp. 22–29 [in Ukrainian].
6. Meshko, N., Falko, Ye. (2014). Rozvytok turystychnoho biznesu v umovakh informatyzatsii svitovoi ekonomiky [Development of tourism business in the conditions of informatization of world economy]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky – Global and national economic problems*, no. 2, pp. 114–120 [in Ukrainian].

7. Seniuk, N., Kis, Ya., Karkulovskiy, V. (2006). Intelektualni turystychni systemy upravlinnia ta zberezhennia informatsii [Intelligent travel management and information storage systems]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serii "Kompiuterni systemy proektuvannia. Teoriia i praktyka" – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series "Computer aided design systems. Theory and practice"*, no. 564, pp. 31–34 [in Ukrainian].

8. Lubko, D., Sharov, S. (2019). Metody ta systemy shtuchnoho intelektu: navchalnyi posibnyk [Methods and systems of artificial intelligence: tutorial]. Melitopol: Individual entrepreneur Odnoroh T.V., 264 p. [in Ukrainian].

9. Sharov, S., Osadchyi, V. (2014). Bazy danykh ta informatsiini systemy: navchalnyi posibnyk [Databases and information systems: tutorial]. Melitopol: Vyd-vo MDPU im. B. Khmelnytskoho, 352 p. [in Ukrainian].

10. Shtimmerman, A., Stepanenko, O. (2020). Zastosuvannia intelektualnykh system pidtrymky pryiniattia rishen u haluzi ukrainskoho turyzmu [Application of intelligent decision support systems in the field of Ukrainian tourism]. *Zbirnyk tez Vseukrainskoi konferentsii molodykh uchenykh "APRIT – 2020" – Collection of abstracts of the All-Ukrainian conference of young scientists "APRIT – 2020"*, pp. 30–33 [in Ukrainian].

11. Lytvyn, V. (2011). Modeliuvannia intelektualnykh system pidtrymky pryiniattia rishen z vykorystanniam ontolohichnoho pidkhodu [Modeling of intelligent decision support systems using the ontological approach]. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia – Radio electronics, computer science, management*, no. 2(25), pp. 93–101 [in Ukrainian].

12. Artemenko, O., Yehorova, V., Fedchenko, V. (2015). Intelektualna systema analizu ekskursiinykh marshrutiv [Intelligent system for analyzing excursion routes]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serii "Informatsiini systemy ta merezhi" – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series "Information systems and networks"*, no. 814, pp. 380–386 [in Ukrainian].

13. Burov, Ye., Horodetska, A. (2010). Intelektualnyi turystychnyi servis z opratsiuvanniam kontekstu sytuatsii [Intellectual tourist service with elaboration of the context of the situation]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serii "Informatsiini systemy ta merezhi" – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series "Information systems and networks"*, no. 689, pp. 27–35 [in Ukrainian].

14. Pasichnyk, V., Savchuk, V. (2015). Intelektualna systema "Mobilnyi informatsiinyi asystent turysta": funktsionalni ta tekhnolohichni osoblyvosti [Intelligent system "Mobile tourist information assistant": functional and technological features]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serii "Informatsiini systemy ta merezhi" – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series "Information systems and networks"*, no. 832, pp. 225–241 [in Ukrainian].

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 664:665:542.543

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.9>

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ЕКСПРЕС-МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЦИС- ТА ТРАНС-ІЗОМЕРІВ

Левчук І.В. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник науково-методичної лабораторії хроматографічних досліджень
ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»
ORCID ID: 0000-0002-9337-8816

Голубець О.В. – кандидат сільсько-господарських наук,
старший науковий співробітник науково-методичної лабораторії
хроматографічних досліджень
ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»
ORCID ID: 0000-0002-6840-4955

Тимченко В.К. – кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-5141-3807

Арутюнян Т.В. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-8593-4985

У статті представлено дослідження метилових ефірів цис- та транс-ізомерів жирних кислот найпоширенішим методом контролю якості в олійножировій галузі – методом газорідинної хроматографії з використанням аналітичних колонок провідних виробників (Agilent Technologies, Supelco, Phenomenex).

Встановлена результативність хроматографічного методу аналізу жирних кислот з використанням колонок HP-88, SP-2380, Zebron-FAME за умови відсутності даних щодо складу нерухокої фази, яка залежить від геометричних параметрів колонок та якості пробопідготовки.

Оптимальні умови розділення метилових ефірів жирних кислот, в тому числі й їх ізомерів, підтверджено за допомогою калібрування колонки стандартною сумішшю метилових ефірів жирних кислот.

Представлено дані досліджень роздільної здатності аналітичних колонок з використанням зразка суміші метилових ефірів жирних кислот 37 Component FAME Mix т.м. Supelco США (кат. № 47885-U) та дослідним шляхом встановлено кращу роздільну здатність критичної пари C18:3-C20:1 піків, яких з часом експлуатації колонки зливаються.

Встановлено шляхом підбору потоку газу носія та градієнту температури термостату колонок Zebtron-FAME мінімальний час аналізу метилових ефірів жирних кислот до 36,2 хв., що значно скорочує тривалість дослідження методом газорідинної хроматографії, який є референсним.

Виявлено, що з часом використання метилату натрія на хроматограмі метилових ефірів жирних кислот з'являються піки ацилгліцеринів, які суттєво впливають на роздільну здатність хроматографічних колонок і негативно впливають на кінцевий результат. Експериментально визначено, що термін придатності метилату натрія, який забезпечує високу якість хроматографічного аналізу, складає один місяць.

Ключові слова: цис- та транс-ізомери жирних кислот газорідинна хроматографія, роздільна здатність, умови пробопідготовки, термін аналізу, референсний метод.

Levchuk I.V., Holubets O.V., Tymchenko V.K., Arutiunian T.V. Scientific and practical aspects of developing the express method for determination of cyst and trans isomers

The article presents the study of methyl esters of cis- and trans-isomers of fatty acids by the most common method of quality control in the oil and fat industry – gas-liquid chromatography using analytical columns from leading manufacturers (Agilent Technologies, Supelco, Phenomenex).

The effectiveness of the chromatographic method of fatty acid analysis using columns HP-88, SP-2380, Zebtron-FAME in the absence of data on the composition of the stationary phase, which depends on the geometric parameters of the columns and the quality of sample preparation.

Optimal separation conditions for fatty acid methyl esters, including their isomers, were confirmed by column calibration with a standard mixture of fatty acid methyl esters.

Data from studies of the resolution of analytical columns using a sample of a mixture of methyl esters of fatty acids 37 Component FAME Mix, etc. Supelco USA (cat. № 47885-U) and experimentally found the best resolution of the critical pair C18: 3-C20: 1 peak, which merge with the time of operation of the column.

The minimum analysis time of fatty acid methyl esters to 36.2 minutes was determined by selecting the carrier gas flow and the temperature gradient of the Zebtron-FAME column thermostat, which significantly reduces the duration of the study by gas-liquid chromatography, which is the reference.

It was found that over time, the use of sodium methylate on the chromatogram of methyl esters of fatty acids appear peaks of acylglycerols, which significantly affect the resolution of the chromatographic columns and adversely affect the final result. It has been experimentally determined that the shelf life of sodium methylate, which provides high quality chromatographic analysis, is one month.

Key words: cis- and trans-isomers of fatty acids, gas-liquid chromatography, separative power, sample handling conditions, analysis term, reference method.

Вступ. Характерною ознакою сучасного олійножирового і будь-якого харчового виробництва є удосконалення схем техно-хімічного контролю виробництва. Техно-хімічний контроль виробництва включає контроль сировини і матеріалів, контроль технологічного процесу та контроль готової продукції. З метою виконання вимог Європейських та міжнародних стандартів для здійснення техно-хімічного контролю виробництва все частіше залучаються інструментальні методи аналізу [1].

Найпоширенішим методом досліджень щодо контролю якості сировини та готової продукції в олійножировій галузі є визначення жирнокислотного складу олій та жирів за допомогою методу газорідинної хроматографії.

До цієї групи показників, зокрема, відносять [2]:

– склад жирних кислот (жирнокислотний склад), який знаходять для купажованих олій;

– визначення масової частки транс-ізомерів олеїнової кислоти – для жирів гідрогенізованих та переестерифікованих;

– визначення масової частки лінолевої кислоти (для жирів переестерифікованих).

Слід зазначити, що в Україні діє закон про маркування [3], згідно якого виробники повинні вказувати на етикетці відомості щодо складу готового продукту, в тому числі насичених жирних кислот і ТІЖК.

Запровадженню та удосконаленню методів газорідинної хроматографії (ГРХ) для аналізу жирнокислотного складу сприятиме видання спеціального довідникового видання [4].

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дотепер газохромаграфічне дослідження жирнокислотного складу (в т.ч. транс-ізомерів жирних кислот) є методом тривалим за часом (близько 1,5–2 год.). Дистриб'юторами аналітичного обладнання пропонуються скринінгові методи –К-Фур'є, рефрактометричні, Іг-спектрометричні та ін. Але газорідинна хроматографія залишається головним (референсним) методом.

Для практичної реалізації методу ГРХ на підприємстві з метою оперативного контролю сировини та готової продукції потрібно скоротити термін аналітичного визначення та покращити роздільну здатність аналітичних колонок.

Основними факторами, що впливають на розділення суміші жирних кислот, є довжина і діаметр капілярної колонки, тип нерухомої фази і товщина її плівки в колонці, природа газу-носія та його швидкість, температура колонки, а також тип системи введення проб у колонку (інжекційна система). Перші три фактори є характеристиками колонки, тому їх слід враховувати при виборі колонки для аналізу. Інші параметри належать до умов експерименту, їх можна легко змінювати. Розділювальна капілярна колонка є однією з основних частин газового хроматографа. Нині використовують капілярні колонки з внутрішнім діаметром 0,25–0,5 мм і довжиною від 10–20 до 100–200 м і більше [5; 6]. Найчастіше використовують капілярні колонки з внутрішнім діаметром 0,25 мм з тонкою плівкою нерухомої фази, рівномірно нанесеною безпосередньо на внутрішню поверхню колонки. Такі колонки мають високу проникність і ефективність розділення, що вимірюється мільйонами теоретичних тарілок.

Викладання основного матеріалу досліджень. Метою даного дослідження є наукове обґрунтування експрес-методу визначення жирнокислотного складу (в т.ч. транс-ізомерів жирних кислот) природних та модифікованих жирів.

Завдання дослідження:

- дослідити роздільну здатність аналітичних колонок провідних виробників щодо стандартної суміші метилових ефірів жирних кислот
- дослідити роздільну здатність та ідентифікацію транс-ізомерів жирних кислот: олеїнової, лінолевої та ліноленової (відповідно С18:1, С18:2, С18:3);
- визначити чинники, які суттєво впливають на роздільну здатність хроматографічних колонок та термін їх придатності.

Готування проб здійснювали згідно [7]. Метиліві ефіри жирних кислот готували за методикою, в якій як реагент для етерифікації використовують метилат натрію [8]. Необхідною умовою правильного приготування проби зразка є використання антиоксиданту – 0,05% розчину бутилгідрокітолуолу (ВНТ) у гептані, оскільки він запобігає передчасному окисненню приготовлених метилових ефірів. Наважку розплавленого жиру (100 мг) розчинили у 2 мл ВНТ в гептані. До отриманого розчину додали 5–6 крапель (≈ 100 мкл) метилату натрію, перемішали протягом 2 хв і залишили на 15 хв для відстоювання. Нейтралізували пробу за допомогою

1–2 г $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Відміту пробу пропустили крізь безводний Na_2SO_4 для зневоднення і перенесли у другу пробірку, додали ще 2 мл розчинника – ВНТ в гептані, струсили та профільтрували у другу пробірку. Промили фільтр 1 мл ВНТ в гептані та отриману пробу перенесли до віали для подальшого хроматографічного аналізу.

Аналіз жирно-кислотного складу здійснювали за стандартною методикою [5]. Дослідження метилових ефірів жирних кислот проводили на газовому хроматографі 7890 В (Agilent Technologies, США).

Умови хроматографічного аналізу з капілярною колонкою:

– **HP-88** (88%-cyanopropyl aryl-polysiloxane, Agilent Technologies, США) довжиною 100 м, з внутрішнім діаметром 0,25 мм та товщиною нерухомої фази 0,2 мкм за наступних умов: швидкість потоку газу-носія – 1,2 мл/хв., коефіцієнт поділу потоку – 1:100, температура випарувача – 280°C, температура детектора (ПД) – 290°C, температурний режим колонки – поступовий нагрів від 60°C до 230°C. Об'єм інжекції – 1,0 мкл;

– **SP-2380** (рідка фаза запатентована виробником Supelco, США), довжина 100 м, внутрішній діаметр 0,25 мм, товщина фази 0,2 мкм. Параметри газового хроматографа: швидкість потоку газу-носія (гелій) – 1,2 мл/хв, спосіб введення зразків – з поділом потоку 100:1, температура інжектора – 280°C, температура детектора (ПД) – 290°C, програма термостату колонки – повільний нагрів зі швидкістю 3°/хв. від 40 °C до 260 °C . Об'єм інжекції – 1,0 мкл;

– **Zebbron FAME** (рідка фаза запатентована виробником Phenomenex, США) довжиною 100 м, з внутрішнім діаметром 0,25 мм та товщиною нерухомої фази 0,2 мкм за наступних умов: швидкість потоку газу-носія – 1,2 мл/хв., коефіцієнт поділу потоку – 1:100, температура випарувача – 280°C, температура детектора (ПД) – 290°C, температурний режим колонки – поступовий нагрів від 60°C до 230°C. Об'єм інжекції – 1,0 мкл.

Першим етапом наших досліджень був аналіз впливу факторів таких, як довжина, діаметр та якість рідкої фази колонки на роздільну здатність колонки. Роздільну здатність аналітичних колонок провідних виробників оцінювання шляхом аналізування стандартного зразка суміші метилових ефірів жирних кислот 37 (Component FAME Mix т.м. Supelco, США ат. № 47885-U).

Метиллові ефіри жирних кислот ідентифікували за часом утримання відповідно до часу утримання стандартної (еталонної) суміші (метод порівняння). Кількісний склад суміші визначили методом внутрішньої нормалізації, коли сума площ всіх піків приймається за 100% і концентрація будь-якого компонента проби розраховується як відносна площа піка. Оптимальні умови розділення метилових ефірів жирних кислот, в тому числі й їх ізомерів, було підтверджено за допомогою калібрування колонки стандартною сумішшю метилових ефірів жирних кислот.

Враховуючи, що останнім часом виробники аналітичних капілярних колонок патентують свій продукт і рідка фаза колонки не вказується виробником, як у випадку з колонками SP-2380 та Zebbron-FAME, наші дослідження були спрямовані на те, щоб дослідним шляхом завдяки підбору потоку газу носія та градієнту температури термостату колонок встановити мінімальний час дослідження метилових ефірів жирних кислот.

Хроматограми розділення стандартної суміші метилових ефірів жирних кислот, одержані за допомогою досліджених колонок виявили повну схожість за набором ідентифікованих жирних кислот, але різний час утримання компонентів. Так, час виходу останнього компонента C22:6h3 (цис-, цис-, цис-, цис-, цис-,

цис-4,7,10,13,16,19-докозагесаєнова кислота) складає: на колонці HP-88 – 76,3 хв., на колонці SP-2380 – 82,1 хв., а на колонці Zebtron-FAME – 36,2 хв.

Мінімальний час дослідження одержано експериментальним шляхом підбору газу носія від 0,81,2 мл/хв. та градієнту температури термостату колонок від 60°C до 230°C; 40°C до 100°C; 100°C до 230°C встановлено, що при потоці газу носія 1,2 мл/хв. та градієнту температури термостату колонок від 100°C до 230°C. Таким чином, за умови однакової якості рухомої фази на основну роздільну якість впливає співвідношення діаметру колонки до довжини, яке для колонки Zebtron-FAME складає $\approx 0,0042$, а для двох інших колонок – 0,0025. Необхідним та важливим є визначення вмісту транс-ізомерів ненасичених жирних кислот. Транс-форми жирних кислот у значній кількості утворюються під час промислової переробки жирів, наприклад, гідрогенізовані – каталітичної реакції, яка полягає у приєднанні водню до ненасичених ацильних груп ацилгліцеридів, що дозволяє одержати з рідких жирів тверді із заданою температурою плавлення, необхідною твердістю, пластичністю тощо [2]. Рослинні жири в натуральному вигляді (дезодоровані або фракціоновані) майже не містять транс-ізомерів, але при їх оброблянні (часткового або повного гідрогенізування, або дезодорування за дуже високих температур) у їхньому складі з'являється велика кількість транс-ізомерів. Найбільш поширеною ненасиченою кислотою є олеїнова C18:1. Вона міститься практично у всіх жирах (як рослинного, так і тваринного походження). Дослідження роздільної здатності та ідентифікації транс-ізомерів здійснено на аналітичних колонках HP-88, SP-2380, Zebtron-FAME.

Фрагменти хроматограм транс-ізомер олеїнової кислоти C18:1 у складі гідрогенізованого рослинного жиру представлено на рис. 1, 2, 3. Роздільна здатність колонок транс-ізомерів C18:1 відрізняється. Кращу роздільну здатність мають колонки SP-2380 та Zebtron-FAME (рис. 2, 3).

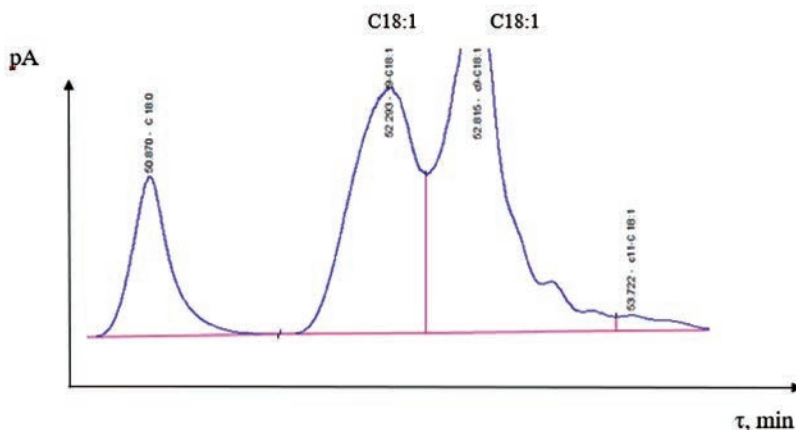


Рис. 1. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:1 на колонці HP-88

Враховуючи кращу роздільну здатність транс-ізомерів C18:1 подальші дослідження проводили на аналітичних колонках SP-2380 та Zebtron-FAME. Таким чином на аналітичних колонках були досліджені транс-ізомери лінолевої кислоти C18:2 (9t,12c-C18:2 та 9c,12t-C18:2) результати роздільної здатності колонок представлено на рис. 4, 5. Співставляючи фрагменти хроматограм на цих

рисунках видно, що роздільна здатність на колонках SP-2380 та Zebron-FAME транс-ізомерів лінолевої кислоти C18:2 (9t,12c-C18:2 та 9c,12t-C18:2) є однаковою.

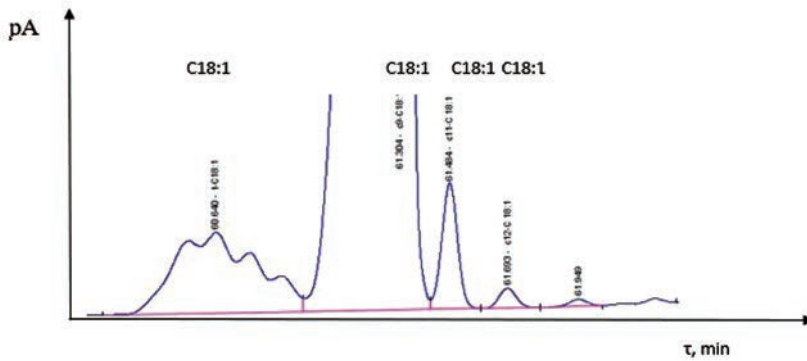


Рис. 2. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів на колонці SP-2380 C18:1

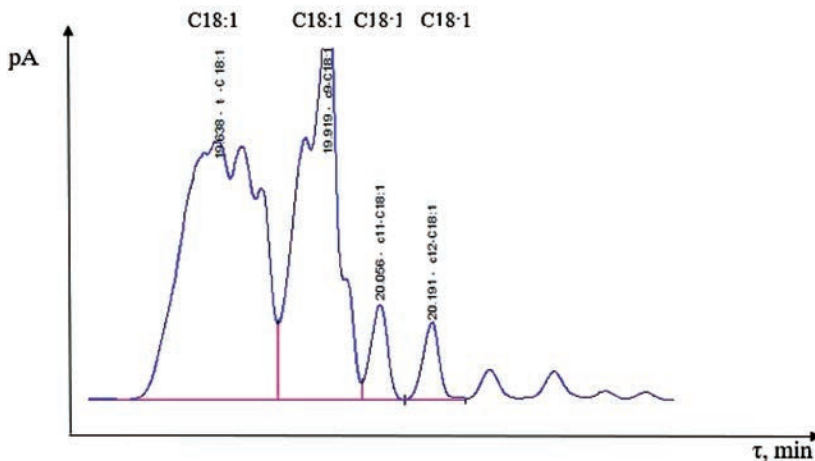


Рис. 3. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:1 на колонці Zebron-FAME

При дослідженні та транс-ізомерів ліноленової кислоти C18:3 встановлено, що на колонці Zebron-FAME результати є кращими ніж на колонці SP-2380, що підтверджено фрагментами хроматограм, представлених рис. 6, 7.

З часом експлуатації колонки піки цих жирних кислот зливаються, як це показано при дослідженнях на колонці HP-88 (рис. 8 А), а при використанні аналітичної колонки Zebron-FAME – інший порядок виходу, більша відстань між піками (рис. 8 Б). Тобто роздільна здатність колонки зберігається.

Слід зазначити, що під час ідентифікації рослинних олій певну хроматографічну складність представляє розділення так званої «критичної пари» транс-ізомерів жирних кислот – лінолевої та гадолеїнової (C18:3–C20:1).

Таким чином, для практичної реалізації хроматографічного методу аналізу вельми важливими є визначення умов функціонування хромато-графічних колонок, зокрема, якість пробопідготовки.

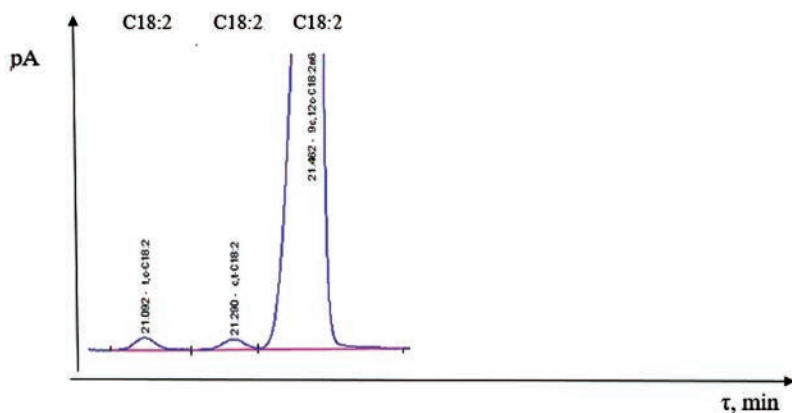


Рис. 4. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:2 (9t,12c-C18:2) та 9c,12t-C18:2) на колонці Zebron-FAME

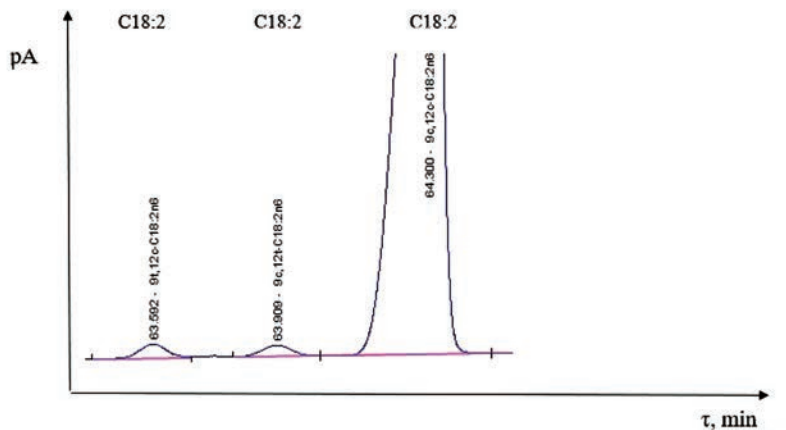


Рис. 5. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:2 (9t,12c-C18:2 та 9c,12t-C18:2) на колонці SP-2380

Тому подальші дослідження було спрямовано на перевірку реагентів, які приймають участь у підготовці проби метилових ефірів жирних кислот до дослідження.

Аналізуючи пробопідготовку, було зроблено акцент на повноту реакції гідроліза під час метилювання зразку жиру або олії, яке чиниться за участю метилату натрію. Аналіз метилових ефірів методом газорідинної хроматографії виявив, що при використанні свіжевикоротовленого розчину метилату натрію випробний зразок не містить домішок негідролізованих ацилгліцеринів. З часом використання метилату натрію на хроматограмі метилових ефірів жирних кислот з'являються піки ацилгліцеринів, які суттєво впливають на роздільну здатність хроматографічних колонок і негативно впливають на кінцевий результат. Експериментально визначено, що термін придатності метилату натрію, який забезпечує високу якість хроматографічного аналізу, складає один місяць.

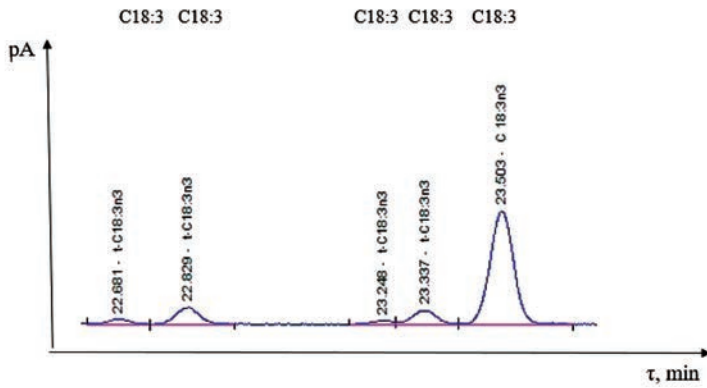


Рис. 6. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:3 на колонці Zebron-FAME

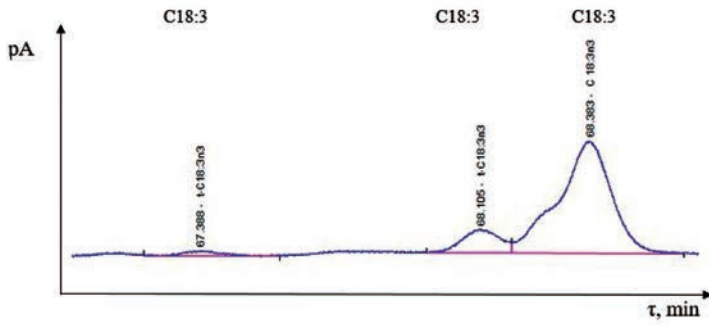


Рис. 7. Фрагмент хроматограми транс-ізомерів C18:3 на колонці SP-2380

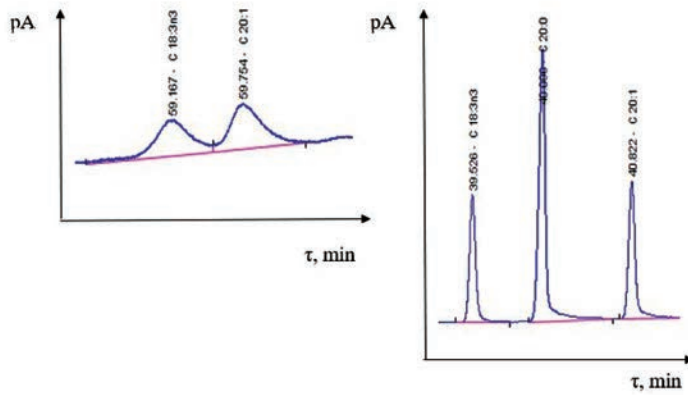


Рис. 8. Фрагмент хроматограми розподілу C18:3-C20:1 на колонках HP-88 (А) та Zebron-FAME (Б).

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. На підставі узагальнення експериментальних досліджень сформульовано такі висновки:

– результативність хроматографічного методу аналізу жирних кислот з використанням колонок провідних фірм США за умови відсутності даних щодо складу нерухомої фази, залежить від геометричних параметрів колонок та якості пробопідготовки;

– хроматограми розділення стандартної суміші метилових ефірів жирних кислот, одержані за допомогою 3-х досліджених колонок, виявили повну схожість за набором ідентифікованих жирних кислот, але різний час утримання компонентів; мінімальний час аналізування метилових ефірів досягнуто при використанні колонки Zebron-FAME – 36,2 хв., що вдвічі скорочує термін аналізу;

– кращу роздільну здатність колонки Zebron-FAME підтверджено під час аналізу метилових ефірів транс-ізомерів олеїнової (C18:1), лінолевої (C18:2), ліноленової (C18:3) кислот та ідентифікації «критичної пари» ліноленової та гадолеїнової кислот (C18:3–C20:1);

– якість хроматографічного аналізу, зокрема роздільна здатність колонок, залежить від умов пробопідготовки, яка в значній мірі лімітується терміном придатності основного реагенту – метилату натрія (1 місяць).

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на узагальнення результатів моніторингу промислових випробувань експрес-методу визначення циста транс-ізомерів жирних кислот під час технохімконтролю виробництва природних та модифікованих жирів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. І.В. Левчук, І.М. Демидов, В.К. Тимченко. Технологічні аспекти запровадження систем безпечності харчових продуктів у схеми технохімконтролю сировини і готової продукції олієжирових виробництв / Левчук І.В., Демидов І.М., Тимченко В.К. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів». 2016. № 29(1201). С. 81–84.

2. Технологія модифікованих жирів : навч. посібник / Ф.Ф Гладкий, В.К. Тимченко, І.М. Демидов та ін., 2014. 241 с.

3. Про ідентифікацію для споживачів щодо харчових продуктів : Закон України від 6 грудня 2018 р. № 2639-VIII. *Відомості Верховної Ради*. 2019. № 7. С. 41.

4. Жирнокислотний, стеринний та ацилгліцеринний склад олій та жирів : довідник. І.В. Левчук, П.О. Некрасов, В.А. Кіщенко та ін., 2020. 207 с.

5. Жири та олії тваринні і рослинні. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот : ДСТУ ISO 5508-2001. / Г. Єресько, М. Яцюта, М. Міщенко, О. Козаченко, С. Вербицький. Увед. вперше ; чинний від 2002-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 9 с. Національний стандарт України.

6. Trans fatty acids: scientific progress and labeling. *Bulletin of International Dairy Federation*. 2005. № 393. 25 p.

7. Жири тваринні і рослинні та олії. Готування випробного зразка : ДСТУ ISO 661:2004 [Текст]. Чинний від 01.05.2006. Київ : Держспоживстандарт України, 3 с.

8. Жири тваринні і рослинні та олії. Приготування метилових ефірів жирних кислот : ДСТУ ISO 5509-2002. / Г. Єресько, М. Яцюта, Г. Насирова, М. Міщенко, О. Козаченко. Увед. Вперше ; чинний від 2003-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 22 с. Національний стандарт України.

REFERENCES:

1. Gladky F.F., Timchenko V.K., Demidov I.M. (2016) *Technologichni aspekty` zaprovadzhennya sy`stem bezpechnosti xarchovy`x produktiv u sxemy`*

tehnokimkontrolyu sy'rovy'ny' i gotovoyi produkciyi oliyezhy'rovy'x vy'robny'cztv [Technological aspects of introduction of food safety systems in schemes of technochemical control of raw materials and finished products of oil and fat production]. Kharkiv: Visny'k nacional'nogo texnichnogo univerty'tetu «XPI» – Bulletin of the National Technical University “KhPI”, 29 (1201), 81–84 [in Ukrainian].

2. Gladky, F.F., Timchenko, V.K., Demidov, I.M. (2014) *Texnologiyamody'fikovany'x zhy'riv: navch. posibny'k* [Technology of modified fats] Kharkiv: Pidruchnyk NTU “KhPI” [in Ukrainian].

3. Zakon Ukrainy' Pro identy'fikaciyu dlya spozhy'vachiv shhodo xarchovy'x produktiv (vidomosti Verxovnoyi rady'): pryiniaty 6 hrud. 2018 roku № 7 [Law of Ukraine. About identification for consumers concerning foodstuff (information of the Verkhovna Rada) from december 6 2018, № 7] p. 41.

4. Levchuk, I.V., Nekrasov, P.O., Kishchenko, V.A., Holubets, O.V., Tymchenko, V.K., Arutiunian, T.V. (2020) *Zhyrnokyslotnyi, sterynovyi ta atsylhlitserynovyi sklad olii ta zhyriv: dovidnyk* [Fatty acid, sterol and acylglycerol composition of oils and fats]. Kyiv: Stal' [in Ukrainian].

5. Zhyry ta olii tvary'nni i rosly'nni. Analizuvannia metodom hazovoi khromatohrafi metylovykh efriv zhyrnykh kyslot [Animal and vegetable fats and oils. Analysis by gas chromatography of fatty acid methyl esters]. (2002). DSTU ISO 5508-2001 from 01st January 2002. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

6. Trans fatty acids: scientific progress and labeling. Bulletin od International Dairy Federation. (2005). № 393. p. 25.

7. Zhy'ry' tvary'nni i rosly'nni ta oliyi. Gotuvannya vy'probного zrazka [Animal and vegetable fats and oils. Preparation of a test sample]. (2004). DSTU ISO 661:2004 from 01st May 2006. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

8. Zhy'ry' tvary'nni i rosly'nni ta oliyi. Pry'gotuvannya mety'lovy'x efriv zhy'rny'x ky'slot [Animal and vegetable fats and oils. Preparation of methyl esters of fatty acids]. (2003). DSTU ISO 5509-2002 from 10th January 2003. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

УДК 664. 959. 5(06)

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.10>

ВИЗНАЧЕННЯ ФАРМАКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІДРОЛІЗАТУ КОЛЕГЕНА

Дзюба Н.А. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування

Одеського національного технологічного університету

ORCID ID: 0000-0001-6609-3965

У всьому світі існують проблеми із задоволенням потреб населення в продуктах харчування, що містять білок, особливо тваринного походження. Великий інтерес з наукової точки зору, являє собою вторинна колагенвмістна сировина, але в харчовій промисловості її використання обмежено, що пов'язано з поганою її засвоюваністю та переварюванням. Наразі виробництво рибної продукції супроводжується утворенням великої кількості вторинної білоквмісної сировини (кістки, плавники, шкіра, луска, нутроці і т.д.), що становить від 30 до 70% від маси вихідної сировини. Невраховані джерела і практичний досвід дають можливість збільшити потенціал даної сировини на 30%. Найбільш перспективним і безпечним направленням модифікації колагена є біомодифікація з розщепленням ковалентних зв'язків, яка підвищує його біологічну цінність і доступність дієвості харчових ферментів людини. Комбінування натуральних колагенових біологічно активних речовин у складі кулінарної продукції з іншими цінними поживними речовинами (вуглеводами, вітамінами, мінералами та ін.) з метою досягнення синергічного ергогенного ефекту надасть можливість істотно розширити асортимент кулінарної продукції, цільову аудиторію і ефективність застосування в харчових технологіях

У науковому дослідженні представлена оцінка фармакологічної цінності гідролізату колагену отриманого шляхом біомодифікації вторинної рибної сировини. Виявлено, що отриманий гідролізат колагену здатен перетравлюватись в організмі на рівні 66,4%. Результати біохімічної та морфологічної оцінки щурів показало, що введення до їх раціону гідролізату колагену в кількості 2% сприяє розвитку внутрішніх органів щурів, відновлює транспорт тригліцеридів, підсилюється імуностимулююча і гепатотропна дії, а також остеотропний ефект. Введення гідролізату колагену до неповноцінного корму щурів сприяло посиленню синтезу кісткової тканини, що доведено збільшенням маси і об'єму кісток. Також, при проведенні дослідження виявлена значна мінералізація кісток щурів, в раціон яких було введено гідролізат колагену, за рахунок чого збільшилася щільність кісток.

Ключові слова: гідролізат колагену, фармакологічні дослідження, перетравлюваність.

Dziuba N.A. Determination of pharmacological properties of the hydrolyzate of the colleague

There are problems around the world with the needs of the population in protein-rich foods, especially those of animal origin. Of great scientific interest is the secondary collagen-containing raw material, but in the food industry its use is limited due to its poor digestibility and digestion. Currently, the production of fish products is accompanied by the formation of a large amount of secondary protein-containing raw materials (bones, fins, skin, scales, viscera, etc.), which is from 30 to 70% by weight of raw materials. Unaccounted for sources and practical experience can increase the potential of this raw material by 30%. The most promising and safe direction of collagen modification is biomodification with the breakdown of covalent bonds, which increases its biological value and the availability of the effectiveness of human food enzymes. Combining natural collagen biologically active substances in culinary products with other valuable nutrients (carbohydrates, vitamins, minerals, etc.) in order to achieve a synergistic ergogenic effect will significantly expand the range of culinary products, target audience and efficiency in food technology/

The scientific study presents an assessment of the pharmacological value of collagen hydrolyzate obtained by biomodification of secondary fish raw materials. It was found that the obtained collagen hydrolyzate is able to be digested in the body at the level of 66.4%. The results of biochemical and morphological evaluation of rats showed that the introduction of collagen hydrolyzate in the amount of 2% promotes the development of internal organs of rats, restores triglyceride transport, enhances immunostimulatory and hepatotropic effects, as well as

osteotropic effect. The introduction of collagen hydrolyzate into the malnutrition of rats enhanced bone synthesis, as evidenced by an increase in bone mass and volume. Also, the study revealed significant mineralization of the bones of rats, in the diet of which was introduced collagen hydrolyte, thereby increasing bone density.

Key words: *collagen hydrolyzate, pharmacological studies, digestibility.*

Вступ. В останні роки поряд із традиційною фармакотерапією розвивається поліфармацевтика і біофармацевтика. Клінічна нутриціологія представляє одне з нових напрямків біофармацевтики. Широке поширення набули нутрицевтичні препарати, що містять гідролізат колагену, глюкозамін, хондроїтін сульфат, гіалуронову кислоту, вітамін С та інші речовини. Аналіз ряду харчових продуктів, що споживаються в більшості країн світу довели зростаюче явище на дефіцит білка тваринного походження в продуктах харчування. Наразі виробництво рибної продукції супроводжується утворенням великої кількості вторинної білокрмісної сировини (кістки, плавники, шкіра, луска, нутроці тощо), що становить від 30 до 70% від маси вихідної сировини.

Постановка проблеми. Практичний інтерес для проектування кулінарної продукції та біологічно-активних добавок представляють дослідження процесу виділення біологічно-активних речовин (БАР) колагенової природи з даної сировини, перш за все, низькомолекулярних пептидів, що володіють підвищеною біологічною активністю. Подальше комбінування натуральних колагенових БАР у складі кулінарної продукції з іншими цінними поживними речовинами (вуглеводами, вітамінами, мінералами та ін.) з метою досягнення синергічного ергогенного ефекту дасть змогу істотно розширити асортимент кулінарної продукції, цільову аудиторію і ефективність застосування в харчових технологіях.

Наразі промислово оброблені гідробіонти являють собою джерело білка високої біологічної цінності, який за структурою нагадує тваринний. Рибні продукти відіграють важливу роль у раціональному харчуванні мільйонів людей у всьому світі. Тому створення продуктів харчування нового покоління на основі морських гідробіонтів, що володіють поліпшеними харчовою і біологічною цінністю, має велике значення для задоволення зростаючого попиту на якісну продукцію. Ці види продуктів харчування багаті основними компонентами і призначені для поповнення амінокислотного та біоенергетичного запасу організму. При використанні морських біоресурсів, основне завдання полягає в розробці нових технологій розділення органічних компонентів, які пов'язані з виробництвом нових видів рибних продуктів, які можуть відповідати специфічним біологічним медико-технологічним стандартам [1; 2].

Сьогодні завданнями лікування хворих на артрит і артроз є покращення рухливості суглобів і зниження болю. Рухливість суглобів визначається оптимальними розмірами колагенових фібрил і протеогліканів. Відомо, що в хрящах оновлення матриксу відбувається через рік [3]. Тому тривале і систематичне застосування комплексу з специфічних амінокислот і глікозаміногліканів в гідролізатах колагену типу II дає змогу відновити і зміцнити структуру тканин суглобів людини. Рекомендована доза споживання гідролізату колагену в день становить 10 г [4].

Нутрицевтики на основі гідролізату колагену ефективно впливають як на ранній стадії хвороб суглобів, так і на їх профілактику. Хронічні хвороби розвиваються внаслідок дисплазії сполучної тканини і закладаються на ембріональній стадії розвитку і/або на етапах росту дітей і підлітків. Коктейль амінокислот колагену допомагає ослабленим дітям в зміцненні суглобної, кісткової та інших сполучних тканин [5; 6]. За рахунок застосування нутрицевтиків із гідролізатів колагену

в комплексі з глікозаміногліканами, вітамінами і катіонами металів можна стимулювати в клітинах біосинтез макромолекул і структуру з'єднувальних тканин, порушених в результаті їх нездорового стану.

Мета дослідження – визначення фармакологічного впливу гідролізату колагену (ГК), отриманого з вторинної рибної сировини, на живі організми.

Виклад основного матеріалу. ГК було отримано з вторинної рибної сировини, а саме з луски коропа, шляхом двосстадійної лужної обробки. Технологічна схема отримання ГК наведена на рис. 1 [7].

Стадія А (підготовча). Луску за допомогою стрічкового конвеєра, подають на промивання у ванну з мішалкою. Потім, сировину підсушують у сушильній шафі. Перед подальшою обробкою заморожену луску розморожують при температурі (0-4) °С протягом 3 годин.

Стадія Б. Підготовлену луску подають у ванну для знежирювання де обробляють розчином NaOH, при ГМ=1:3 та температурі (4±2) °С протягом 24 годин. Знежирену луску промивають у ванні проточною водою. Гідроліз луски здійснюють шляхом двократної обробки. Отриманий ГК промивають водою та заливають 2%-им розчином оцтової кислоти, витримують 8 хвилин для повної нейтралізації луку. Розчин декантують та отримують осад.

Стадія В. Отриманий осад промивають водою. Для нейтралізації луку використовують 2%- розчин оцтової кислоти. Готовий ГК висушують при температурі (70±5)°С до досягнення ним масової частки вологи (6,5–7,0) %. Далі, за допомогою стрічкового конвеєра подають отриманий сухий ГК на подрібнення у дробарку. Отриманий порошок подрібнюють та фасують.

ГК має білий колір, не має запаху та присмаку, що може дати можливість його використання в якості біологічно активної добавки до різних харчових продуктів.

Для визначення впливу отриманого ГК на організм людини провели фармакологічні дослідження на щурах. Дослідження проводилось на базі консалтингової лабораторії здорового харчування Одеського національного технологічного університету та лабораторії біохімічної фармакології ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметрестандарт») м. Одеса.

Ступінь перетравлюваності ГК оцінювали за інтенсивністю його гідролізу ферментами пепсином та трипсином в умовах *in vitro* (рис. 2). Аналіз кінетики процесу ферментативного гідролізу (рис. 2) показав, що гідроліз відбувається практично з постійною швидкістю. Так, за 8 годин інкубації, що порівняно з реальними умовами перетравлювання їжі в організмі людини, ГК перетравлюється на 66,4%.

Фармакологічні дослідження проведено на 20 білих лабораторних щурах (самках) лінії Вістар, віком 2,5 місяці, середньою масою 152,6 г на початок експерименту. Тварини містилися у стандартних умовах віварію, корм отримували *ad libitum*. Експеримент проводили з дотриманням основних положень Конвенції Ради Європи щодо охорони хребетних тварин, що використовуються в експериментах та інших наукових цілях, від 18.03.1986 року, Директиви ЄС № 609 від 24.11.1986 року, Наказ МОЗ України № 66 від 13.02. Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 21.02.2006 № 3447-IV.

Тварин поділили на 3 групи: I – стандартний комбікорм віварію, 6 тварин; II – раціон, дефіцитний за білком та кальцієм, 7 тварин; III – раціон, дефіцитний за білком та кальцієм, + гідролізат колагену 2% від маси корму, 7 тварин. Склад раціону, дефіцитного по білку та кальцію: кукурудза – 68,9%, буряк – 20,7%, капуста – 10,4%.

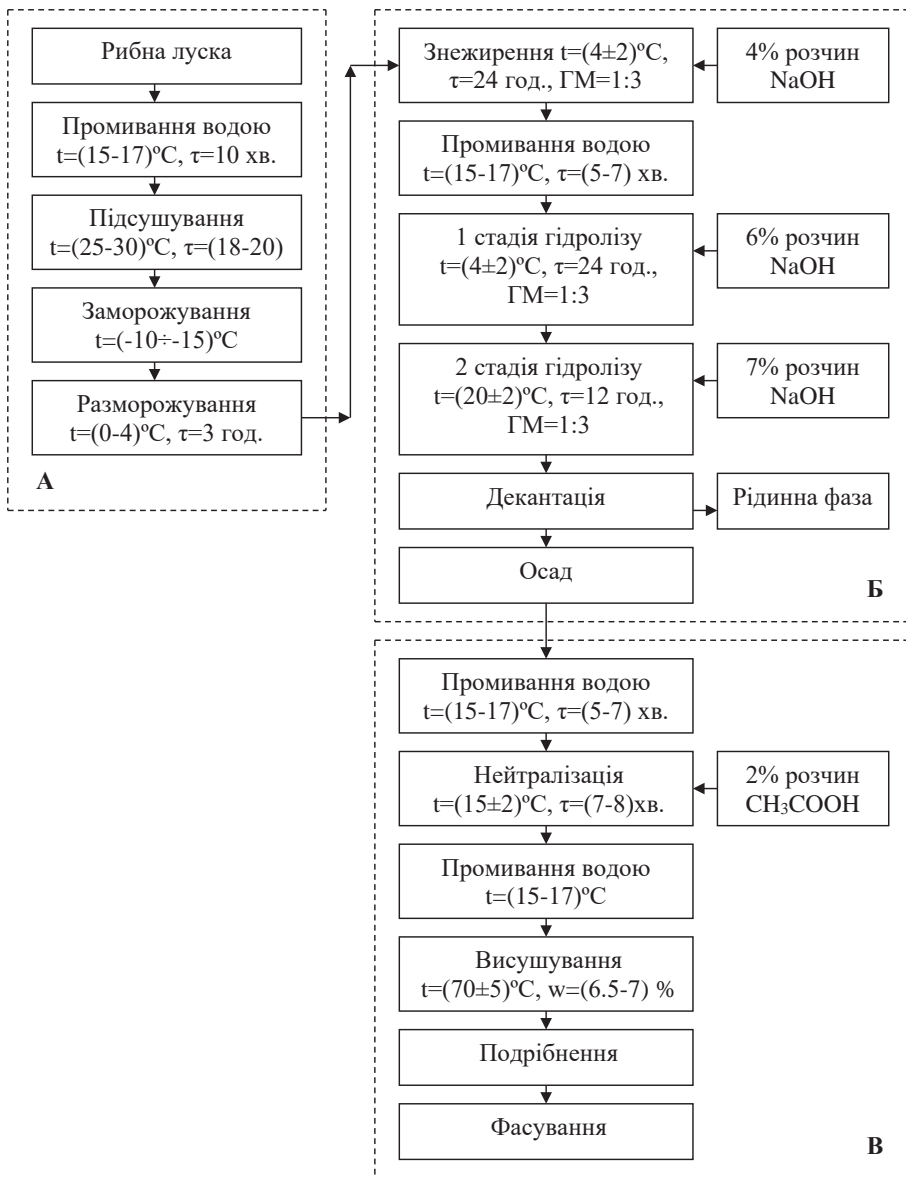


Рис. 1 Технологічна схема виробництва ГК

Виведення з експерименту здійснювали на 34-й день під тіопенталовим наркозом шляхом розтину магістральних судин. Проводили:

- забір крові для проведення загального аналізу: вміст гемоглобіну, кількість лейкоцитів, кількість еритроцитів;
- збирали кров для отримання сироватки, в якій визначали активність каталази, аланінамінотрансферази, лужної фосфатази, вміст тригліцеридів та малонового діальдегіду;

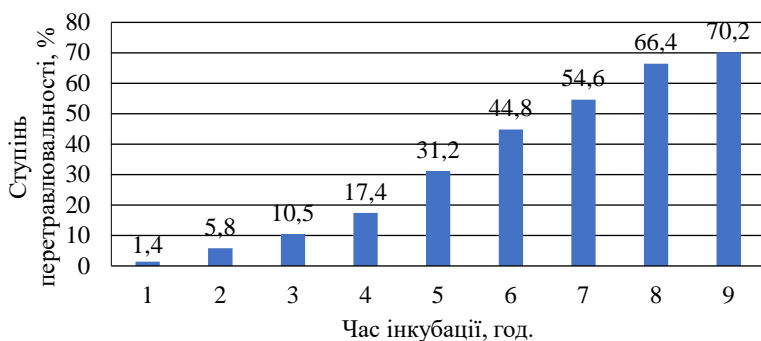


Рис. 2 Кінетика перетравлювання ГК у системі «пепсин-трипсин» (in vitro)

- виділяли життєво важливі органи: серце, печінку, підшлункову залозу, нирки для визначення органного індексу (маса органу, мг/масу тіла, г);
- препарували стегнові кістки та перший поперековий хребець з боку крижів для визначення морфометричних показників (щільності, маси органічного та мінерального компонента).

У табл. 1 наведено результати зміни маси щурів, які перебували під наглядом.

З даних табл. 1 видно, що при однаковій початковій масі тіла аліментарний дефіцит білка та кальцію у щурів 2-ої групи через 34 дні викликав відставання приросту маси тіла. Так, абсолютний приріст маси у другій групі тварин був у 2,6 рази нижче, ніж у щурів, які отримували стандартний раціон віварію ($p < 0,001$). Відносний приріст маси також знизився в 2,5 рази у щурів із аліментарним дефіцитом білка та кальцію. Отримані дані підтверджують відоме положення про відставання зростання тварин при дефіциті білка в раціоні. Щоденне введення в низькобілковий та низькокальцієвий раціон ГК не виявило позитивного впливу на приріст маси тіла щурів 3-ї групи, показники якого збереглися на рівні значень 2-ої групи. Можливо, це може бути пов'язане з недостатньою кількістю введеного ГК або нетривалістю експерименту.

Таблиця 1

Вплив раціону на масу тіла щурів

Групи щурів	Початок експерименту, 0 діб, г	Кінець експерименту, 34 діб., г	Приріст маси тіла абсолютний, г	Приріст маси тіла відносний, %%
Група I.	153,8±10,9	188,2±11,4	34,3±2,3	22,8±1,9
Група II.	148,3±3,5	161,6±2,9	13,3±1,2 $p < 0,001$	9,1±1,0 $p < 0,001$
Група III.	155,7±4,6	168,3±6,1	12,6±2,2 $p < 0,001, p1 > 0,8$	8,0±1,2 $p < 0,001, p1 > 0,4$

Примітка: p – достовірність відмінностей показників першої групи; $p1$ – достовірність відмінностей від показників другої групи (за критерієм Стьюдента).

Результати розрахунку органного індексу життєво важливих органів щурів, які отримували дефіцитний за білком та кальцієм раціон протягом місяця, наведено у таблиці 2. Дефіцит необхідних нутрієнтів викликав достовірне зменшення

органного індексу печінки ($p < 0,001$), нирок ($p < 0,001$), підшлункової ($p < 0,05$), шурів 2-ої групи, що пов'язано, перш за все, з недостатнім надходженням незамінних амінокислот у раціоні зростаючих тварин. Органний індекс серця не зазнав істотних змін.

Введення в неповноцінний раціон ГК виявило позитивну дію на органічний індекс органів шурів 3-ї групи. Так, цей показник достовірно підвищився для печінки ($p < 0,001$) та нирок ($p < 0,001$). При цьому нормалізація органного індексу зареєстрована тільки для підшлункової залози ($p > 0,8$), показник печінки та нирок, незважаючи на достовірне збільшення, не досягнув значень у тварин, які отримували стандартний раціон віварію ($p < 0,01$, табл. 2).

Таблиця 2

Вплив раціону, дефіцитного по кальцію та білку, та ГК на органічний індекс органів шурів, мг/г

Групи шурів	Печінка	Серце	Підшлункова заліза	Нирки
Група I.	42,44±1,67	3,513±0,162	2,519±0,218	3,816±0,150
Група II.	32,09±0,50 $p < 0,001$	3,545±0,129 $p > 0,9$	2,010±0,140 $p < 0,05$	2,927±0,084 $p < 0,001$
Група III.	35,28±0,70 $p < 0,01, p1 < 0,001$	3,526±0,160 $p > 0,8, p1 > 0,8$	2,504±0,259 $p > 0,8, p1 > 0,2$	3,184±0,022 $p < 0,01, p1 < 0,001$

Примітка: p – достовірність відмінностей показників першої групи; $p1$ – достовірність відмінностей від показників другої групи (за критерієм Стьюдента).

Тривалий аліментарний дефіцит білка та кальцію у шурів другої групи не вплинув на рівень гемоглобіну та кількість еритроцитів у крові тварин. При цьому загальна кількість лейкоцитів у крові шурів другої групи знизилася на 25,3% ($p < 0,001$). Оскільки однією з функцій лейкоцитів є участь у формуванні клітинного та гуморального імунітету, зменшення цього показника констатує про зниження імунологічної реактивності тварин з тривалим аліментарним дефіцитом білка і кальцію (табл. 3).

Щоденна добавка ГК до дефіцитного раціону ефективно запобігала зниженню загальної кількості лейкоцитів у крові шурів 3-ї групи ($p < 0,002$). Рівень цього показника у відсутності достовірних відмінностей від такого в інтактній групі тварин, отримували стандартний раціон віварію ($p > 0,3$, табл. 3). У таблиці 4 наведено результати дослідження показників сироватки крові, які характеризують важливі фізіологічні процеси в організмі тварин. Як зазначено в табл. 4, тривале споживання раціону, дефіцитного по кальцію та білку, викликало достовірне збільшення рівня тригліцеридів у сироватці крові шурів другої групи на 35,8% ($p < 0,002$).

Таблиця 3

Показники загального аналізу крові шурів, що отримували раціон, дефіцитний по кальцію та білку, та добавку ГК

Групи шурів	Лейкоцити, Г/л	Еритроцити, Т/л	Гемоглобін, Г/л
Група I.	8,25±0,42	6,84±0,27	160,50±8,73
Група II.	6,16±0,26, $p < 0,001$	6,53±0,22, $p > 0,4$	173,25±10,11, $p > 0,4$
Група III.	7,67±0,32 $p > 0,3, p1 < 0,002$	6,67±0,20 $p > 0,6, p1 > 0,7$	163,10±10,2 $p > 0,8, p1 > 0,4$

Примітка: p – достовірність відмінностей від показника інтактної групи, $p1$ – достовірність відмінностей від показника групи 2 (за критерієм Стьюдента)

Оскільки білки, зокрема альбуміни, беруть участь у транспорті жирів, то накопичення останніх говорить про дефіцит ендогенних білків та нездатність їх здійснювати повноцінний транспорт жирів до тканин та органів тварин, що призводить до їх накопичення в крові в умовах аліментарної нестачі білка та кальцію.

Один із важливих «печінкових» маркерів – активність аланінамінотрансферази (АлАТ) знижується на 28,3% у сироватці крові щурів 2-ої групи, яка отримувала неповноцінний раціон ($p < 0,001$). Отримані дані підтверджують відомий факт про зменшення активності АлАТ у сироватці крові осіб із аліментарною білковою недостатністю, що пояснюється зниженням інтенсивності процесів переамінування амінокислот у печінці. Введення в дефіцитний за білком і кальцієм раціон тварин гідролізату колагену запобігало певною мірою зниження рівня АлАТ, активність якої була вищою, ніж у 2-ій групі ($p < 0,02$), але не досягла нормальних значень ($p < 0,02$, таблиця 4).

Таблиця 4

Деякі показники сироватки крові щурів, які отримували раціон, дефіцитний по кальцію та білку, та добавку гідролізату колагену

Групи щурів	Група 1.	Група 2.	Група 3.
Вміст тригліцеридів, ммоль/л	0,355±0,010	0,482±0,035 $p < 0,002$	0,306±0,018 $p < 0,02, p1 < 0,001$
Активність АлАТ, мккат/л	0,350±0,015	0,251±0,014 $p < 0,001$	0,300±0,015 $p < 0,02, p1 < 0,02$
Активність лужної фосфатази, мккат/л	1,005±0,107	1,687±0,168 $p < 0,002$	1,208±0,079 $p > 0,2, p1 < 0,02$
Активність каталази, мкат/л	0,183±0,023	0,232±0,009 $p < 0,05$	0,269±0,015 $p < 0,002, p1 < 0,05$
Зміст МДА, ммоль/л	0,57±0,03	0,70±0,04 $p < 0,05$	0,67±0,05 $p < 0,05, p1 > 0,7$

Примітка: p – достовірність відмінностей показників першої групи; $p1$ – достовірність відмінностей від показників другої групи (за критерієм Стьюдента).

Активність лужної фосфатази в сироватці крові щурів другої групи, навпаки, зросла на 67,9% ($p < 0,002$). Збільшення активності лужної фосфатази, зазвичай, сприймається як ознака механічної жовтяниці, атрофії гепатоцитів чи активацією остеогенезу. У дослідженні таке підвищення активності ферменту може бути пов'язане з атрофією печінкових клітин внаслідок аліментарного дефіциту білка, а також не виключено компенсаторну активацію процесу кісткоутворення в умовах тривалої нестачі кальцію та білка в раціоні. Добавка гідролізату колагену до неповноцінного раціону тварин 3-ї групи сприяла зниженню активності сироваткової лужної фосфатази до нормального рівня ($p > 0,2$ та $p1 < 0,02$, табл. 4).

Неповноцінний раціон викликав збій в антиоксидантно-прооксидантної системи тварин другої групи. Так, у сироватці крові щурів після тривалого аліментарного дефіциту білка та кальцію зареєстровано достовірне збільшення каталази на 26,8% ($p < 0,05$) та рівня малонового діальдегіду (МДА) – на 22,8% ($p < 0,05$, табл. 4). Оскільки МДА є продуктом перекисного окиснення ліпідів, можна зробити висновок, що неповноцінний раціон викликає інтенсифікацію цього процесу або оксидативний стрес. Підвищення активності одного з основних антиоксидантних ферментів каталази пояснюється компенсаторним підвищенням антиоксидантного

захисту за умов інтенсифікації перекисного окиснення ліпідів. Введення в неповноцінний раціон гідролізату колагену ще більшою мірою підвищило активність каталази ($p < 0,05$) і не вплинуло на вміст МДА ($p > 0,7$) у сироватці крові щурів 3-ї групи (табл. 4). Це свідчить про те, що для нормалізації антиоксидантно-прооксидантного статусу в умовах аліментарного дефіциту білка та кальцію необхідно введення до раціону додаткових компонентів, можливо антиоксидантів.

У щурів, які отримували неповноцінний раціон, щільність усіх досліджуваних кісток була достовірно нижчою за показники в інтактній групі – на 3,59% для стегнових кісток ($p < 0,01$) та на 5,06% для поперекових хребців ($p < 0,001$) (табл. 5 і 6). При цьому маса і об'єм всіх досліджуваних кісток у щурів цієї групи були нижче, ніж у щурів інтактної групи: на 13,9 і 10,5% відповідно для стегнових кісток і на 17,1 і 12,5% для хребців, хоча і не достовірно (табл. 5 та 6).

Добавка гідролізату колагену до дефіцитного раціону в третій групі достовірно підвищила щільність всіх кісток у щурів цієї групи порівняно з показниками у 2-ій групі ($p < 0,001$) та в інтактній групі ($p < 0,01$): на 7,44 та 3,59% відповідно для стегнових кісток і на 9,42 і 3,88% – для поперекових хребців (табл. 5 і 6).

Добавка гідролізату також сприяла збільшенню маси та об'єму кісток у цій групі, при цьому дані показники чисельно перевищували аналогічні значення в інтактній групі: за масою – на 5,1 та 5,85% для стегнових кісток та хребців, за об'ємом – на 1,70 і 2,27%, відповідно. Збільшення маси та обсягу кісток при додаванні гідролізату порівняно з показниками у 2-ій групі було достовірним ($p < 0,01$) і склало за масою – 22,0 та 28,2% для стегнових кісток та хребців, за обсягом – 13,6 та 17%.

Таблиця 5

Морфометричні параметри стану стегнових кісток щурів

Показник	Група I.	Група II.	Група III.
Маса, мг	426,9±32,1	367,7±6,8	448,6±13,9, $p < 0,001$
Об'єм, мм ³	283,1±19,5	253,4±4,7	287,9±9,2, $p < 0,01$
Щільність, мг/мм ³	1,505±0,012	1,451±0,005 $p < 0,01$	1,559±0,007 $p < 0,01$, $p < 0,001$
Вміст мінерального компонента, (вагова частка), %	39,41±1,05	35,55±0,67, $p < 0,01$	43,40±0,46 $p < 0,01$, $p < 0,001$
Вміст органічного компонента, (вагова частка), %	23,63±0,62	24,26±1,05	22,10±0,83

Примітка: p – достовірність відмінностей показників першої групи; $p1$ – достовірність відмінностей від показників другої групи (за критерієм Стьюдента).

Аналіз компонентного складу кісток показав, що хребці мають менший ступінь мінералізації (в 1,12 рази) порівняно з стегновими кістками при подібному вмісті органіки для всіх груп щурів. Зниження щільності всіх досліджуваних кісток у групі на неповноцінному раціоні порівняно з показниками в інтактній групі поєднується з достовірним зниженням вмісту мінерального компонента ($p < 0,01$): на 9,80% у стегнових кістках та на 24,14% у хребцях за практично однаковий зміст органіки. Додавання гідролізату колагену сприяло достовірному збільшенню вмісту мінерального компонента, показники якого значно перевищили значення аналогічних показників в інтактній групі ($p < 0,001$) та групі на неповноцінному раціоні ($p < 0,01$): на 10,1 та 22,1% для стегнових кісток на 10,7 і 45,9% для хребців (табл. 5 і 6).

Таблиця 6

Морфометричні параметри стану поперекових хребців

Показник	Група I.	Група II.	Група III.
Маса, мг	107,93±8,02	89,44±4,03	114,59±3,98 p1 < 0,001
Об'єм, мм ³	74,75±5,21	65,38±3,04	76,51±2,58 p1 < 0,05
Щільність, мг/мм ³	1,442±0,011	1,369±0,010 p<0,001	1,498±0,012 p<0,01, p1<0,001
Вміст мінерального компонента, (вагова частка), %%	35,09±0,98	26,62±0,81 p<0,01	38,84±0,64 p<0,01, p1<0,001
Вміст органічного компонента, (вагова частка), %%	23,77±0,52	23,93±0,32	23,88±0,49

Примітка: p – достовірність відмінностей показників першої групи; p1 – достовірність відмінностей від показників другої групи (за критерієм Стьюдента).

Тривале споживання щурами раціону, дефіцитного по білку і кальцію викликало: виражене зниження темпу зростання маси тіла щурів, зменшення маси печінки, підшлункової залози та нирок, зниження загальної кількості лейкоцитів, підвищення рівня тригліцеридів, активності лужної фосфатази, каталази та рівня малонового діальдегіду на тлі зниження активності АЛАТ у сироватці крові, зниження щільності кісток рахунок зменшення частки мінерального компонента.

Введення в неповноцінний раціон гідролізату колагену 2% маси корму деякою мірою гальмувало зниження маси печінки, підшлункової залози та нирок тварин, запобігало зменшенню загальної кількості лейкоцитів, нормалізувало активність лужної фосфатази, дещо знижувало рівень тригліцеридів та підвищувало активність АЛАТ та не вплинуло на активність каталази та рівень МДА у сироватці крові, збільшення маси та обсягу кісток, а також щільності кісток за рахунок підвищення вмісту мінерального компонента.

Висновок. Отримані дані показали, що гідролізат колагену, отриманий шляхом лужної обробки вторинної рибної сировини, перетравлюється на 66,4%, що дає змогу рекомендувати його в якості БАР. Отримані дані фармакологічного дослідження довело, що гідролізат колагену в раціоні частково компенсував дефіцит білка в раціоні, сприяючи розвитку внутрішніх органів щурів і, відновлюючи транспорт тригліцеридів, виявив імуностимулюючу і гепатотропну дію, а також виражений остеотропний ефект на тлі тривалого вживання щурів раціону, дефіцитного на білок. Додаток даного компонента до неповноцінного корму сприяла посиленню синтезу кісткової тканини, що виявилось збільшення маси і об'єму кісток, і значно підвищила рівень мінералізації кісток, за рахунок чого збільшилася щільність кісток. При цьому вплив гідролізату колагену на стан поперекових хребців був більш вираженим порівняно з аналогічним ефектом у стегнових кістках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Normy fiziologicheskikh potrebnoyey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii [Norms of physiological requirements in energy and nutrients for different population groups in the Russian Federation]. Moscow, 2008. 41 p.

2. Zhong C., Sun Z., Zhou Z., et al. Chemical characterization and nutritional analysis of protein isolates from Caragana korshinskii Kom. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, vol. 62, pp. 3217–3222.

3. Багратишвили В.Н., Соболев Э.Н., Шехтер А.Б. Лазерная инженерия хрящей. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 488 с.
4. Moskowitz R.W. Role of collagen hydrolysate in bone and joint disease. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. 2000. Vol. 30. P. 87–99. Lopez H.L.
5. Osteoarthritis supplement nutritional interventions to prevent and treat osteoarthritis. Part II: Focus on micronutrients and supportive nutraceuticals. *The American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012, Vol. 4. pp. 155–168.
6. Кадурина Т.И., Горбунова В.Н. Дисплазия соединительной ткани : Руководство для врачей. Санкт-Петербург : ЭЛБИ, 2009. 704 с.
7. Спосіб одержання колагенового препарату: пат. 79357 Україна : МПК (2006.01) A23J 1/04 № 79357; заявл. 13.08.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.

REFERENCES:

1. Normy fiziologicheskikh potrebnoyey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii [Norms of physiological requirements in energy and nutrients for different population groups in the Russian Federation]. Moscow, 2008. 41 p.
2. Zhong, C., Sun Z., Zhou Z., et al. (2014) Chemical characterization and nutritional analysis of protein isolates from Caragana korshinskii Kom. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 62, pp. 3217–3222.
3. Bagratishvili, V. N., Sobol' E. N., Shekhter A.B. (2006) Lazernaya inzheneriya hryashchej. M.: FIZMATLIT. pp. 488.
4. Moskowitz R.W. (2000) Role of collagen hydrolysate in bone and joint disease. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, vol. 30, pp. 87–99.
5. Lopez H. L. (2012) Osteoarthritis supplement nutritional interventions to prevent and treat osteoarthritis. Part II: Focus on micronutrients and supportive nutraceuticals. *Amer. Acad. Physic. Med. Rehab*, vol. 4, pp. 155–168.
6. Kadurina T.I., Gorbunova V.N. (2009) Displaziya soedinitel'noj tkani. Rukovodstvo dlya vrachej. SPb.: ELBI, pp. 704.
7. Sposib oderzhannya kolagenovogo preparatu. PAT. 79357. Ukraina MPK (2006.01) A23J 1/04. № 79357; zayavl. 13.08.2012; opubl. 25.04.2013, Byul. № 8.

УДК 641.827(477.46)

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.11>

ВИЗНАЧЕННЯ КОНКУРЕНТНОЇ ПЕРЕВАГИ БОРЦЮ «ХОЛОДНОЯРСЬКОГО»

Івашина Л.Л. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи
Черкаського державного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0001-9009-305X

Бишовець Л.Г. – старший викладач кафедри туризму
та готельно-ресторанної справи
Черкаського державного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0001-5863-5111

У статті наведено технологію приготування борщу «холодноярського» з метою розширення асортименту страв української кухні. Розглянуто конкурентні переваги борщу «холодноярського» стосовно прототипу борщу українського. Проаналізовано сучасний стан української національної кухні та розглянуто технологію приготування борщів за рахунок використання сучасних інгредієнтів у створенні нових смаків досить відомих страв. Отримано комплекс даних, що характеризують якість розробленої страви, доведено її високу харчову цінність. Обґрунтовано розроблення технології приготування борщу «холодноярського», оскільки борщі посідають вагоме місце в раціоні харчування населення. Підвищення конкурентоспроможності нової технології борщу буде здійснене за рахунок поліпшення якісних характеристик продукції (підвищення біологічної, органолептичної цінності, унікальних властивостей і характеристик, що зумовлює збагачення борщу мікроелементами та амінокислотами), а також виведення нової продукції на ринок. Проведено органолептичну оцінку борщу «холодноярського» та надано порівняльну характеристику органолептичних показників якості з прототипом. Дослідження показали, що борщ «холодноярський» володіє більш високими смаковими властивостями порівняно з прототипом. Також представлено харчову цінність борщу «холодноярського» порівняно з прототипом. Дослідження показали, що розроблена технологія борщу має підвищений вміст білків, жирів і вуглеводів порівняно з борщем українським, що привело до збільшення енергетичної цінності на 150% за рахунок введення трьох видів м'яса. Також представлено розрахунок собівартості набору сировини борщу «холодноярського» та прототипу борщу українського. Доведено, що соціальний ефект від упровадження нової технології полягатиме в розширенні асортименту й поліпшенні якості кулінарної продукції. Розроблена технологія приготування борщу «холодноярського» може бути рекомендована для харчування в повсякденному раціоні та для розширення асортименту страв української кухні в закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: борщ, борщовий набір, технологія приготування, конкурентні переваги, собівартість набору сировини.

Ivashina L.L., Byshovets L.G. Determination of the competitive advantage of “Kholodnoyarsky” borsch

The article gives the preparation technology of “Kholodnoyarsky” borsch for the purpose of expansion of the range of dishes of the Ukrainian cuisine. The competitive advantages of “Kholodnoyarsky” borsch over the prototype of Ukrainian borsch are considered. The current state of Ukrainian national cuisine is analyzed and the technology of cooking borsch is considered, due to the use of modern ingredients in creating new flavors of well-known dishes. A set of data characterizing the quality of the developed dish is obtained; its high nutritional value is proved. The preparation technology development of “Kholodnoyarsky” borsch is substantiated, as borsch occupies not the last place in the population diet. Increasing the competitiveness of new borsch technology will be achieved by improving the quality characteristics of products (increasing biological, organoleptic value, unique properties and characteristics, which lead to enrichment of borsch with trace nutrients and amino acids) and bringing new products to market. Organoleptic evaluation of “Kholodnoyarsky” borsch

was carried out and comparative characteristics of organoleptic quality indicators with the prototype were given. Studies have shown that "Kholodnoyarsky" borsch has higher taste properties compared to the prototype. The nutritional value of "Kholodnoyarsky" borsch in comparison with the prototype is also presented. Studies have shown that the developed technology of borsch has a higher content of proteins, fats and carbohydrates compared to Ukrainian borsch, which led to an increase in energy value by 150% due to the introduction of three types of meat. The calculation of a set of raw material cost for "Kholodnoyarsky" borsch and a prototype of Ukrainian borsch is presented. It is proved that the social effect of the introduction of new technology will expand the range and improve the quality of culinary products. The developed cooking technology of "Kholodnoyarsky" borsch can be recommended for including into the daily diet and for expanding the range of dishes of Ukrainian cuisine in restaurants.

Key words: *borsch, borsch set, cooking technology, competitive advantages, raw material cost.*

Вступ. Однією з головних страв, без якої не можна уявити українську кухню, є борщ. Борщ готували в різні часи за різними рецептами та з використанням різних наборів продуктів. Також технологія приготування борщу могла відрізнятись залежно від регіону. Наприклад, для Чернігівщини, Полтавщини та Слобожанщини характерне додавання в борщ цукрового буряку, на Поділлі додають в'ялені сливи-угорки, які надають страві відповідного солодкуватого присмаку.

Для підкислення борщу використовували квашені яблука, солоні огірки та лісові кислоти. У деяких регіонах додавали до рецептури борщу сік яблук або вишень, буряковий квас, сколотини, сироватку, домашнє пиво тощо. Тому кожен регіон пишається особливостями приготування борщу.

Досить поширені в Україні фестивалі борщу, які дають можливість не тільки спробувати різновиди цієї страви, а й дізнатися, який рецепт найкращий.

Перші страви України досить різноманітні, тільки борщу налічується близько 50 видів. Борщ є традиційною стравою для середньостатистичного українця, однією з найпростіших. Його готують удома, подають у вишуканих ресторанах і придорожніх кафе, проте його до сих пір не відносили до вуличної їжі.

Досить часто економічні показники України прив'язуються до борщового набору, адже цей набір показує, як змінюється ціна на продукти, оскільки борщ містить практично всі головні продукти для споживача: м'ясо, картоплю, капусту, моркву, цибулю, буряк і томати. Борщовий набір є одним із головних критеріїв економіки та досить міцно закріпився в обігу. Тому більшість експертів і засоби масової інформації виділяють декілька типів борщових наборів: пісний, м'ясний, а також сезонні (зимовий, весняний, літній, осінній) [1].

На сьогодні практично немає універсального рецепту борщу, однак усе-таки простежується спільне уявлення про перелік основних його інгредієнтів.

Під час проведення опитування респондентів вони часто зазначають, що готують за класичним рецептом або використовують стандартний набір продуктів. Однак результати показують, що немає єдиного обов'язкового набору інгредієнтів, без якого страву не можна вважати борщем. Так, наприклад, дехто не уявляє борщу без капусти чи томату, а хтось їх зовсім не використовує.

Метою дослідження є розширення асортименту страв української кухні. У роботі обґрунтовано конкурентні переваги технології приготування борщу «холодноярського».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досить вагомий внесок у вирішення проблеми розширення асортименту продуктів харчування, створення різноманітних технологій приготування борщу українського здійснили відомі кулінари та дослідники гастрономічної культури. Багато з них продовжують займатися цим питанням і далі, оскільки воно не втратило актуальність [2–4].

Кулінарний експерт Євген Клопотенко досить активно займається актуалізацією української кухні, популяризує борщ та зазначає, що єдиного правильного рецепту борщу на сьогодні немає [5].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що однією з особливостей української кухні є її багатокомпонентність.

Виклад основного матеріалу. У кожній новій країні споживач завжди намагається спробувати не знайомі для себе страви та смакові поєднання. Для значної кількості туристів Україна є центром гастрономічної культури. Набір продуктів, з яких готують борщ, постійно розширюється.

Унаслідок аналізу даних анкетування можна зазначити, що деякі кулінари додають до борщу чорнослив, куркуму, броклі, спаржу, авокадо тощо. Як додаткові інгредієнти борщу, а саме його підкислювачі, використовуються яблука, груші, вишні, лимони та журавлина.

Розроблення нової технології приготування борщу «холоднорського» та можливість підвищення його конкурентоспроможності здійснюється завдяки поліпшенню якісних характеристик страви та виведенню нової продукції на ринок. З економічної позиції це можливість розширення асортименту продуктів харчування, що випускаються, та збільшення обсягів реалізації.

Зміна технології приготування традиційного борщу українського та послідовність закладки продуктів дає змогу готувати страву в умовах, коли з посуду використовується тільки казан і розливна ложка. Борщ, приготований за новою технологією, має досить високі поживні якості та збалансований склад нутрієнтів; також у ньому спостерігається підвищений вміст білка, який необхідний для відновлення організму людини.

Відомий спосіб приготування борщу передбачає приготування м'ясного бульйону, нарізування овочів, послідовне додавання цих овочів у бульйон, відварювання до повної готовності, приготування тушкованого буряку з оцтом, цукром і томатом, приготування пасеровки з моркви й цибулі, додавання пасеровки до овочів та окреме відварювання м'яса.

Недоліком зазначеного способу приготування борщу є те, що таку технологію досить складно реалізувати на природі під час походу або приготування страви в польових умовах, оскільки відсутня плита та звичний набір інвентарю, а сама страва готується на багатті.

Зміна традиційної технології приготування та послідовності закладки продуктів дає змогу приготувати страву в зазначених умовах, коли з посуду використовується тільки казан і розливна ложка. Страва, приготовлена за цією технологією, має високі поживні якості та збалансований склад нутрієнтів, містить багато білка, який організму людини необхідно відновлювати в умовах походу або тривалих подорожей.

В основу нової технології приготування борщу покладене попереднє обсмажування продуктів у казані з подальшим варінням до повної готовності страви. Борщ «холоднорський», приготовлений за такою технологією, містить багатший склад мікроелементів та амінокислот. Особливістю технології приготування борщу «холоднорського» є додавання квітів чорнобривців (імеретинського шафрану) та трьох видів м'яса (свинини, телятини й курятини).

Додавання квітів чорнобривців збагачує страву такими мінеральними речовинами, як мідь і золото, а також бета-каротин, провітамін А. Поєднання трьох видів м'ясних білків із білками, що містяться в овочах і сметані, приводить до підвищення утилізації білків організмом людини.

Приготування борщу «холодноярського» передбачає такий технологічний процес: м'ясо нарізають дрібними кубиками (3×3см), цибулю та моркву дрібно шаткують. Сало нарізають кубиками 0,5 см та перекладають у казан, куди додають олію та смажать до напівпрозорого стану сала. Після цього додають телятину, свинину й курятину. Розмішуючи, м'ясо із салом смажать 30 хвилин. Потім додають порізану ріпчасту цибулю, і процес смаження триває ще 3 хвилини. Після цього додають моркву, буряк, оцет, кабачки, порізані соломкою, і смажать ще 5 хвилин. Далі додають томат, усі складники перемішують і тушкують 5 хвилин. Потім додають картоплю, яку нарізають дрібними кубиками, шатковану капусту та вливають воду. Страву доводять до кипіння і варять 20 хвилин. Після цього додають у казан відварену квасолю, чорнобривці, сіль, цукор, перець і доводять до кипіння. Готову страву залишають на 15 хвилин для настоювання, потім розливають по мисках, додаючи сметану, і посипають січеною зеленню та сухариками.

Ця технологія виключає окреме приготування м'ясного бульйону, використання сковорідки для приготування овочевої пасеровки та прискорює весь процес приготування страви. Додавання прямих трав і чорнобривців збільшує поживну цінність страви, а поєднання декількох видів м'яса підвищує її харчову цінність та калорійність.

Органолептичну оцінку борщу «холодноярського» проводили сенсорним методом за показниками, що передбачені стандартом, а саме: зовнішній вигляд, консистенція, колір, запах, смак. Саме ці показники здебільшого формують уявлення споживача про якість страви.

Порівняльну характеристику органолептичних показників прототипу борщу українського та борщу «холодноярського» представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Органолептичні показники різновидів борщу

Показник	Борщ український	Борщ «холодноярський»
Зовнішній вигляд	У рідкій частині борщу овочі та м'ясо зберегли форму нарізування (соломка, кубики)	У рідкій частині борщу овочі та м'ясо зберегли форму нарізування (соломка, кубики)
Колір	Бульйон малиново-червоний, насичений, на поверхні оранжевий	Бульйон малиново-червоний, насичений, на поверхні оранжевий
Смак і запах	Кисло-солодкий, у міру солоний	Кисло-солодкий, у міру солоний, насичений пряний аромат
Консистенція	Бульйон рідкий, овочі м'які, капуста цупка	Бульйон рідкий, овочі м'які, м'ясо м'яке, капуста цупка

Проведені дослідження показали, що борщ «холодноярський» володіє високими смаковими властивостями та може бути реалізований у закладах ресторанного господарства.

Харчову цінність борщу «холодноярського» порівняно з прототипом наведено в таблиці 2.

З даних таблиці 2 видно, що за вмістом поживних речовин борщ «холодноярський» за розробленою технологією перевищує прототип.

Технічним результатом, що досягається у процесі розроблення нової технології, є отримання спрощення технологічного процесу приготування борщу, що своєю чергою дає можливість готувати його в умовах походу за відсутності плити й сковорідки, використовувати тільки казан та отримати страву з підвищеною харчовою та енергетичною цінністю.

Таблиця 2

Харчова цінність різновидів борщу

Показник	Борщ український	Борщ «холодноярський»
	Вміст у 100 г продукту	
Білки, г	1,4	4,7
Жири, г	2,3	9,3
Вуглеводи, г	6,9	7,7
Енергетична цінність, ккал/100г	53,1	133

Розроблення нових технологій традиційних страв дає можливість розширити їх асортимент і підвищити харчову й біологічну цінність.

Значною перевагою технології борщу «холодноярського» з додаванням квітів чорнобривців (імеретинського шафрану) та трьох видів м'яса є те, що для його впровадження у виробництво не потрібно додаткових капітальних вкладень (інвестицій), оскільки зміни стосуються лише рецептури його приготування порівняно з традиційним борщем. Отже, зміни стосуються лише поточних витрат на сировину.

Покращені якісні характеристики (підвищена біологічна, органолептична цінність, унікальні властивості й характеристики, зумовлені збагаченням борщу «холодноярського» мікроелементами та амінокислотами) забезпечують йому більший рівень конкурентоспроможності порівняно з борщем українським. Це є передумовою значних перспектив економічного зростання за умов проведення науково обґрунтованої цінової стратегії.

Проведемо розрахунок собівартості набору сировини борщу «холодноярського» та прототипу борщу українського. Визначення вартості набору сировини представлено в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

Розрахунок собівартості набору сировини для борщу «холодноярського»

Назва сировини	Брутто (г)	Ціна за кг (грн)	Сума (грн)
1	2	3	4
Буряк столовий свіжий	113	10,60	1,20
Капуста білоголова свіжа	88	9,50	0,84
Цибуля ріпчаста	30	7,00	0,21
Морква свіжа	38	9,50	0,36
Картопля свіжа	77	10,00	0,77
Кабачки свіжі	61	52,00	3,17
Томатна паста	15	78,54	1,18
Сало	32	75,00	2,40
Олія	25	47,69	1,19
Цукор	6	28,00	0,17
Сіль	3	5,34	0,02
Оцет харчовий 9%	10	14,49	0,14
Вода	430		
Яловичина	56	140,00	7,84

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
Свинина	56	109,00	6,10
Курятина	56	79,90	4,47
Квасоля відварена	45	59,00	2,66
Чорнобривці рильця свіжі	15		
або імеретинський шафран сушений	3	1500,00	4,50
Часник свіжий	8	87,50	0,70
Чебрець свіжий	5	90,00	0,45
Петрушка зелень	5	70,00	0,35
Цибуля зелень	4	76,50	0,31
Сметана	25	40,00	1,00
Сухарі житні	75	20,47	1,54
Вихід готової страви	1000	Разом	41,57

Таблиця 4

Розрахунок собівартості набору сировини для борщу українського

Назва сировини	Брутто (г)	Ціна за кг (грн)	Сума (грн)
Буряк	150	10,60	1,59
Капуста білоголова свіжа	100	9,50	0,95
Картопля свіжа	213	10,00	2,13
Морква	50	9,50	0,48
Цибуля ріпчаста	36	7,00	0,25
Томатна паста	30	78,54	2,36
Жир тваринний топлений	20	71,96	1,44
Цукор	10	28,00	0,28
Оцет харчовий	10	14,49	0,14
Перець солодкий	27	104,00	2,81
Часник свіжий	4	87,50	0,35
Борошно пшеничне	6	15,50	0,09
Сало шпик	10,4	75,00	0,78
Бульйон чи вода	700		
Петрушка корінь	21	31,50	0,66
Часник свіжий	3,8	87,50	0,33
Яловичина	108	140,00	15,12
Петрушка зелень	4	70,00	0,28
Сметана	50	40,00	2,00
Вихід готової страви	1000	Разом	30,60

Оскільки борщ «холодноярський» подається із житніми сухарями, а борщ український подається з пампушками, то собівартість прототипу розраховувалася разом із пампушками та часниковим соусом (див. таблицю 5).

Таблиця 5

Розрахунок собівартості набору сировини для пампушок із часником

Назва сировини	Брутто (г)	Ціна за кг (грн)	Сума (грн)
Борошно пшеничне	80	15,50	1,24
Дріжджі	2,5	74,90	0,19
Цукор	5	28,00	0,14
Яйця (для змащування) шт.	0,05	3,50	0,01
Вода	35		
Олія (для змащування листів)	2	47,69	0,10
Для соусу			
Часник свіжий	2,6	87,50	0,23
Сіль	1	5,34	0,01
Олія	5	47,69	0,24
Вода	25		
Вихід готової страви	1000	Разом	2,16

Унаслідок аналізу даних таблиці 3 можна сказати, що вартість набору сировини для борщу «холодноярського» становить 41,75 грн.

Оскільки чорнобривці вирощують у всіх куточках України, можна виключити із собівартості вартість імеретинського шафрану, а саме 4,50 грн, тоді вартість цього борщу становить 37,07 грн.

Як видно з даних таблиць 4 та 5, собівартість набору сировини для борщу українського з пампушками із часником становить 32,76 грн. У процесі визначення конкурентоспроможності нових страв необхідно враховувати, що вони володіють вищими якісними характеристиками.

Висновки і пропозиції. Упровадження нових технологій у приготування національних страв дає можливість розширити їх асортимент та підвищити харчову цінність, що підвищує їхню конкурентоспроможність. Тому представлена технологія приготування борщу «холодноярського» показує, як змінюються органолептичні показники страви та підвищується біологічна цінність за рахунок введення трьох видів м'яса.

Розрахунок собівартості набору сировини для розробленої технології борщу «холодноярського» та борщу українського показав, що борщ за новою технологією приготування став лише на 13% дорожчим порівняно з традиційним борщем. Натомість вміст білків, жирів і вуглеводів у ньому підвищився в 3,4 раза, 4,0 раза, 1,1 раза відповідно, що привело до збільшення енергетичної цінності на 150%. Це дає змогу проводити цінову політику «впровадження на ринок», а в подальшому – збільшувати норму прибутку під час виробництва цього виду продукції.

Соціальний ефект від упровадження нової технології полягає в розширенні асортименту та поліпшенні якості кулінарної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Все що хочеш, аби борщ – як українці готують та їдять борщ. URL: https://yizhakultura.com/material/20200623_1321 (дата звернення: 16.12.2021).
2. Дубовис Г.А. Українська кухня: повне зведення рецептів національної кухні XVIII–XXI ст. Харків : Фоліо, 2006. 519 с.
3. Артюх Л.Ф. Українська традиційна кухня. Київ : Балтія-Друк, 2017. 71 с.
4. Клопотенко Є.В. Зваблення їжею: 70 рецептів, які захочеться готувати. Київ : Книголав, 2019. 179 с.

5. П'ять цікавих фактів про борщ, яких ви не знали. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54447232> (дата звернення: 17.12.2021).

REFERENCES:

1. Vse shcho khochesh, aby borshch – yak ukraintsi hotuiut ta yidiat borshch [All you want is borsch – how Ukrainians cook and eat borsch]. Retrieved from: https://yizhakultura.com/material/20200623_1321 (in Ukrainian).

2. Dubovys, H.A. (2006). Ukrainska kukhnia: povne zvedennia retseptiv natsionalnoi kukhni XVIII–XXI st. [Ukrainian cuisine: a complete compilation of recipes of national cuisine of the XVIII–XXI centuries]. Kharkiv: Folio (in Ukrainian).

3. Artiukh, L.F. (2017). Ukrainska tradytsiina kukhnia [Ukrainian traditional cuisine]. Kyiv: Baltiia-Druk (in Ukrainian).

4. Klopotenko, Ye.V. (2019). Zvablennia yizheiu: 70 retseptiv, yaki zakhochetsia hotuvaty [Seduction with food: 70 recipes that you will want to cook]. Kyiv: Knyholav (in Ukrainian).

5. Piat tsikavykh faktiv pro borshch, yakykh vy ne znaly [Five interesting facts about borscht that you did not know]. Retrieved from: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54447232> (in Ukrainian).

УДК 664.95:574.5/6
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.12>

ТЕХНОЛОГІЯ МУСОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ГІДРОБІОНТІВ

Менчинська А.А. – кандидат технічних наук, доцент,
старший викладач кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0001-8593-3325

Іванюта А.О. – кандидат технічних наук, доцент,
асистент кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-1770-5774

Пилипчук О.С. – кандидат сільськогосподарських наук,
асистент кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-2757-6232

У роботі обґрунтовано доцільність удосконалення технології мусів із креветок. На основі аналізу літературних джерел визначено пріоритетні напрями переробки рибної сировини та розширення асортименту рибних продуктів. Проведено аналіз наявних технологій мусових продуктів із гідробіонтів. Встановлено перспективність виготовлення мусів із риби та ракоподібних. Теоретично обґрунтовано доцільність застосування креветок для створення харчових продуктів із покращеними органолептичними показниками та підвищеною харчовою цінністю. Експериментально підтверджено ефективність комбінування ракоподібних із рибною, тваринною та рослинною сировиною. Розроблено рецептури нових мусів на основі м'яса креветок із додаванням вершкового сиру, вершків, оливкової олії, філе лосося, авокадо, яблук, спецій і прянощів. Проведено дослідження органолептичних, фізико-хімічних показників якості та харчової цінності готової продукції. На основі результатів дослідження встановлено відповідність показників вимогам стандарту. За органолептичними дослідженнями зразки з овочевим доповненням мають кращу органолептичну оцінку, ніж контрольний зразок, найвищий бал отримав зразок № 3. Фізико-хімічні дослідження підтвердили, що вміст солі в розроблених зразках не перевищує норму – 2,5%, усі муси мають відповідну консистенцію. За хімічним складом зразок № 2 має найвищий вміст білка – 18,7%, найвищий вміст жиру спостерігається в контрольному зразку (44%), а найменший – у зразку № 1 (61,57%). Результати досліджень хімічного складу свідчать про високу харчову цінність розроблених мусів. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологічну схему виробництва мусів на основі креветок із використанням тваринних і рослинних компонентів. Основними технологічними операціями є попередня підготовка сировини, ретельне подрібнення суміші та фасування готового продукту.

Ключові слова: мус, креветки, технологічна схема, рецептура, харчова цінність.

Menchynska A.A., Ivanyuta A.O., Pylypchuk O.S. Technology of mousse products from hydrobionts

The expediency of improving the technology of shrimp mousses is substantiated in the work. Based on the analysis of literature sources, the priority areas of processing of fish raw materials and expanding the range of fish products have been identified. The analysis of existing technologies of mousse products from aquatic organisms has been carried out. The prospects of production of mousses from fish and shrimps have been established. The expediency of using shrimp to create food products with improved organoleptic characteristics and increased nutritional value has been theoretically substantiated. The effectiveness of combining crustaceans with fish, animal and plant raw materials has been experimentally confirmed. New mousse recipes based on shrimp meat with cream cheese, cream, olive oil, salmon fillet, avocado, apples, spices and condiments

have been developed. A study of organoleptic, physico-chemical indicators of quality and nutritional value of finished products has been conducted. Based on the research results, the compliance of the indicators with the requirements of the standard has been established. According to organoleptic studies, samples with vegetable supplement have a better organoleptic evaluation than the control sample; sample № 3 got the highest score. Physico-chemical studies have confirmed that the salt content in the developed samples does not exceed the norm – 2,5%, all mousses have the appropriate consistency. In terms of chemical composition, sample № 2 has the highest protein content – 18,7%, the highest fat content was in the control sample (44%), and the lowest in sample № 1 (61,57%). Results of study on the chemical composition indicate the high nutritional value of the developed mousses. Based on theoretical and experimental researches the technological scheme of production of mousses on the basis of shrimps with use of animal and vegetable components has been developed. The main technological operations are preliminary preparation of raw materials, fine grinding of the mixture and packaging of the finished product.

Key words: mousse, shrimps, technological scheme, recipe, nutritional value.

Вступ. Пастоподібні продукти з гідробіонтів набувають своєї популярності на світовому ринку рибопродукції та користуються великим попитом серед споживачів. Це зумовлено їхніми органолептичними характеристиками, зручністю споживання, високою поживністю та ступенем засвоєння, а також поширенням маловідходних виробництв. Технологія пастоподібних продуктів дає змогу одержати продукти, збагачені різноманітними смако-ароматичними добавками, функціональними інгредієнтами, з використанням при цьому сировини з механічними пошкодженнями. Асортиментний ряд цієї продукції включає рибні паштети, пасти, масла, креми та муси.

Незважаючи на велику популярність пастоподібних продуктів із гідробіонтів за кордоном, в Україні їх асортимент досить обмежений і представлений рибними паштетами та пастами зі свіжої чи солонної риби з використанням великої кількості синтетичних смакових та ароматичних добавок [1].

Однією з головних умов функціонування організму людини є обов'язкова наявність у раціоні харчування основних нутрієнтів, що необхідно враховувати під час вибору інгредієнтів харчових продуктів. Тому актуальності набуває питання розширення асортименту пастоподібних продуктів на основі цінної сировини та натуральних інгредієнтів, які не лише покращують органолептичні властивості, а й підвищують харчову, біологічну цінність і користь продукту для організму. Перспективним напрямом вирішення цього питання є вдосконалення технології мусових продуктів із креветок та сировини тваринного й рослинного походження.

Креветки, як і всі морські делікатеси, є джерелом повноцінного білка. Концентрація корисних мікро- й макроелементів у креветках у десятки разів вища, ніж у м'ясі. Так, у креветках містяться натрій, калій, фосфор, сірка, кальцій, магній, залізо, цинк, мідь, марганець, йод, фтор, хром, кобальт, нікель, молібден тощо. Також м'ясо креветок багате на вітаміни (Е, С, РР, В₁, В₂, В₃, В₆, В₉, В₁₂, А, Н). Вживання креветок сприяє зниженню сенсibiliзації організму та запобігає розвитку алергічних реакцій [2]. Креветочне м'ясо варто застосовувати у складі мусів із гідробіонтів у поєднанні з різними рослинними й тваринними компонентами для створення збалансованих за харчовою та біологічною цінністю продуктів.

Метою роботи є вдосконалення технології полікомпонентних мусів на основі гідробіонтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значну частину асортименту рибних пастоподібних продуктів представляють паштети та пасти завдяки їхнім поживним властивостям та унікальним сенсорним характеристикам. Увага багатьох учених спрямована на розширення сировинної бази для виготовлення пастоподібних

продуктів, удосконалення органолептичних і реологічних показників через заміну традиційних видів сировини [3–5]. Науковці розробили функціональний паштет на основі прісноводної риби з додаванням кальмара [4]. Відома технологія рибного паштету із щуки, ляща, що додатково містить гарбуз, рослинну олію та водорості [5]. Згідно з патентом РФ № 2512341 «Способ производства растительно-рыбных паст и паштетов из карпа» відома технологія виробництва рослинно-рибних паст і паштетів із коропа з додаванням гарбуза, цибулі та CO₂-екстракту перцю чорного, CO₂-екстракту часнику. У патенті РФ № 2166873 «Паштет» наведено спосіб одержання рослинно-рибних паштетів із використанням хітозану як структуроутворювача та додаванням CO₂-екстрактів прянощів.

Рибні пасти виготовляють з оселедцевих, скумбрієвих, лососєвих риб, вибраківаних за механічними пошкодженнями, а також дрібних видів риб. Використовують сировину переважно в соленому вигляді [6; 7]. Технологію виготовлення такої пасти із солоних оселедця та сьомги наведено в патенті РФ № 2537502 «Способ приготовления рыбной пасты», що включає підготовку рибної сировини (відмочування солоної риби, філетування, промивання) і допоміжних матеріалів (вершкового масла, сиру, броколі, перцю болгарського, моркви й лаконоса), подрібнення, фасування. Поширені також пастоподібні продукти, виготовлені з подрібненого м'яса свіжої морської чи океанічної риби або з рибного фаршу [6; 7].

Найбільш поширеними пастоподібними продуктами є рибні масла, креми, муси. Особливість цих продуктів полягає в поєднанні високої харчової цінності з легкою, приємною текстурою. Тому підбір жирової основи (вершкове масло, олія, майонез), доступної рибної сировини, їх співвідношення для забезпечення відповідних реологічних та органолептичних показників є предметом дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців [6–8].

Для приготування рибних масел використовують такі види риб, як оселедець, скумбрія, сардина (івасі, сардинела, сардинопс), харчові відходи від розбирання лососєвих [6; 7]. Розроблено технологію приготування масел «Делікатесне» та «Новинка», до складу яких входять варено-морожене м'ясо криля й солоня пробійна ікра минтая [6; 7]. Гарні смакові якості та ніжна консистенція притаманні креветочному маслу, яке готують із білкової пасти «Океан» або м'яса криля та вершкового масла. Креветочні масла мають рожево-кремовий або рожевий колір, приємний смак та аромат, ніжну й мастку консистенцію [6; 7].

Завдяки привабливому зовнішньому вигляду, легкій, повітряній консистенції, високій поживності та унікальним смако-ароматичним властивостям на увагу вибагливих споживачів заслуговують креми й муси з гідробіонтів. Відомі рецептури шотландського рибного крему, до якого, крім знежиреного філе пікші, входять молоко, вершкове масло, яйця, свіжий пшеничний хліб, сіль, перець, ароматизатор (зі смаком креветок чи петрушки) та деякі інші компоненти [6; 7]. Н.М. Купіною та М.В. Кудряшовою розроблено технологію приготування малосоленого кремоподібного продукту з гідробіонтів (риби, кальмара, восьминога, двостулкових і черевоногих моллюсків), яка наведена в патенті РФ № 2040189 «Способ приготовления малосоленого кремообразного продукта из гидробионтов». Відомі технології мусів зі свіжого м'яса лосося з креветками, зі свіжого м'яса пікші з креветками та з копченого м'яса пікші, до складу яких входить не менше 40,0% м'яса риби з майонезом і соусом бешамель [6; 7].

Незважаючи на широкий світовий асортимент і досвід виробництва пастоподібних продуктів, їх випуск у нашій країні залишається проблематичним. Сучасні технології виробництва цієї продукції ґрунтуються на використанні рибної

сировини та великої кількості синтетичних смако-ароматичних і стабілізуючих добавок. Тому важливим завданням є розширення асортименту пастоподібних продуктів на основі ракоподібних.

Виклад основного матеріалу. Об'єктами дослідження були муси на основі креветок із додаванням тваринної (молочні вершки, вершковий сир) і рослинної (оливкова олія, яблука, авокадо) сировини. Як контроль вибрано мус на основі фаршу тріскових риб без додавання рослинних інгредієнтів. Рецептури мусів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика рецептурного складу
контрольного та експериментальних зразків мусів**

Назва інгредієнту	Вміст інгредієнту, %			
	Контроль	Експериментальні зразки		
		№ 1	№ 2	№ 3
М'ясо креветок	35	47	52	62
Фарш тріскових риб	40	-	-	-
Фарш форелі с/с	-	42	-	-
Вершковий сир	15	-	-	24
Вершки	-	-	-	12
Авокадо	-	-	22	-
Яблуко	-	-	15	-
Сіль кам'яна	0,8	1,2	1,2	1
Часник	-	0,6	-	0,8
Олія оливкова	-	8	9	-
Ячний жовток	3,6	-	-	-
Вода	3	-	-	-
Ксантанова камедь	0,25	-	-	-
Камедь ріжкового дерева	0,15	-	-	-
Аромат креветок	0,05	-	-	-
Паприка	0,15	0,6	0,4	0,1
Чорний перець мелений	0,2	0,6	0,4	0,1

Рецептурний склад мусів зумовлює відповідні органолептичні показники. Зокрема, забарвлення мусів залежить від використання рослинної сировини. Так, зразку № 2 зеленого відтінку надав авокадо.

Смако-ароматичні показники покращують спеції та рослинна сировина, яку було додано нами згідно з рецептурами. Додавання перцю чорного, паприки та часнику надає пікантності й оригінальності смаку.

Для диференційованого органолептичного аналізу мусів була розроблена п'ятибальна шкала згідно з рекомендаціями Т.М. Сафронової [9], що дає змогу встановити оцінку інтенсивності окремих показників якості та представити результати у вигляді профілограми. Порівняння отриманих зразків мусів між собою за допомогою «Багатокутника якості» наведено на рисунку 1. Органолептичну оцінку мусів на основі креветок здійснювали за такими показниками, як зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенція.

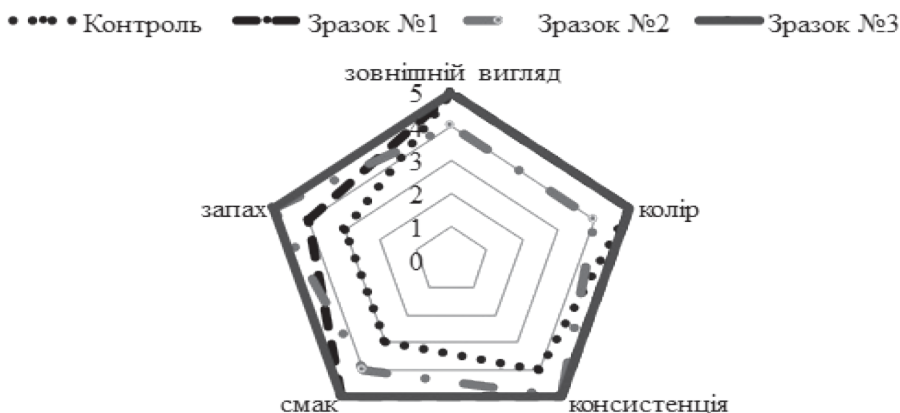


Рис. 1. Органолептична оцінка зразків мусів

Наочно видно, що розроблені зразки мусів відрізняються між собою за органолептичною оцінкою. За результатами органолептичної оцінки зразок № 3 визнано найкращим, оскільки його площа найбільша, а контролю – найменша.

Відповідні органолептичні характеристики були підтвержені результатами фізико-хімічних показників. Так, вміст солі в контролі становить 2,5%, а в дослідних зразках № 1 та № 2 – 2,3%, що відповідає нормі 1,5–2,5% згідно з вимогами стандарту. Для оцінки консистенції мусів проводили вимірювання пенетрації та визначали граничну напругу зсуву. Результати вимірювань наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Гранична напруга зсуву мусів (n=3, p<0,05)

Назва досліджуваних зразків	Гранична напруга зсуву, Па
Контроль	254,0
Зразок № 1	196,3
Зразок № 2	208,3
Зразок № 3	196,0

Результати досліджень, наведені в таблиці 2, свідчать про те, що контрольний зразок характеризується найвищим значенням граничної напруги зсуву (254 Па) і, відповідно, має найбільш щільну структуру порівняно з розробленими зразками. Зразок № 1 має значення граничної напруги 196,3 Па, зразок № 2 – 208,3 Па, зразок № 3 – 196 Па.

Одним із важливих фізико-хімічних показників є активність води. Саме цей показник визначає стійкість виробу до псування. Чим більший показник активності води, тим більш сприятливі умови для розмноження мікроорганізмів, тим вище ураження продукту патогенною мікрофлорою. За цим показником можна визначити, наскільки швидкопсувним є продукт. Дані про активність води в готовому продукті наведено в таблиці 3.

Згідно з даними таблиці 3 робимо висновок про те, що креветочні муси є швидкопсувними продуктами, оскільки показник активності води в них є високим. Діапазон таких значень дає можливість стверджувати, що продукт є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів (бактерій, плісняви, дріжджів).

Таблиця 3

Активність води мусів

Назва зразка	Активність води	Мікроорганізми, що можуть розвиватися
Контроль	0,967	Бактерії, плісені (цвілеві гриби), дріжджі
Зразок № 1	0,989	
Зразок № 2	0,981	
Зразок № 3	0,979	

Основним показником харчової цінності є хімічний склад. Результати досліджень загального хімічного складу рецептур наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Загальний хімічний склад рецептур

Рецептура	Хімічний склад на 100 г, %			
	Волога	Жир	Білок	Вуглеводи
Контроль	50±2,0	44±0,2	5±0,7	0,5±0,1
Зразок № 1	64,5±1,5	7,5±0,2	18,7±0,7	0,4±0,1
Зразок № 2	67,25±2,25	9,95±0,2	15,7±0,7	3,63±0,1
Зразок № 3	66,89±2,1	12,3±0,2	16,6±0,7	1,48±0,1

З аналізу даних таблиці 4 постає, що найвищий вміст води спостерігається в рецептурі зразка № 2, а найнижчий – у контрольному зразку; найвищий вміст жиру бачимо в контрольному зразку, а найнижчий – у рецептурі зразка № 1; вміст білка найвищий у зразку № 1, а найнижчий – у зразку № 2; вміст вуглеводів найвищий у рецептурі зразка № 2, у контролі та зразку № 1 вміст вуглеводів мінімальний. Хімічний склад зумовлює калорійність продукту, яка представлена на рисунку 2.



Рис. 2. Порівняльна характеристика енергетичної цінності рецептур мусів

Згідно з підрахунками енергетична цінність контрольного зразка перевищує енергетичну цінність експериментальних зразків. Це пов'язано з тим, що основна маса рецептури контролю складається з вершкового масла та вершків. Експериментальні зразки мають значно нижчу енергетичну цінність, проте користі в них

набагато більше, що зумовлюється високим вмістом повноцінного білка, джерелом якого є м'ясо креветок.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологічну схему виробництва мусів із креветок, яка представлена на рисунку 3.

Основними технологічними операціями є попередня підготовка рибної та овочевої сировини, що полягає у здійсненні процесів миття, очищення, подрібнення. Підготовлені інгредієнти змішують у відповідному рецептурному співвідношенні, піддають ретельному подрібненню та фасують суміш у форми. Зберігають готовий продукт за температури від -2 до $+2^{\circ}\text{C}$ не більше 72 годин із моменту виготовлення.



Рис. 3. Технологічна схема виготовлення мусів

Висновки та перспективи. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень удосконалено рецептуру й технологію виготовлення мусів на

основі креветок із додаванням тваринної (молочні вершки, вершковий сир) і рослинної (оливкова олія, яблука, авокадо) сировини.

Проведено дослідження органолептичних, фізико-хімічних показників якості та хімічного складу готової продукції. На основі результатів досліджень встановлено відповідність показників вимогам стандарту. За органолептичними показниками найвищу балову оцінку отримав зразок № 2. Вміст солі в дослідних зразках і контролі відповідає нормі – 1,5–2,5%. Усі зразки мають відповідну мусову консистенцію, при цьому значення граничної напруги зсуву контрольного зразка (254,0 Па) перевищує відповідний показник в експериментальних зразків (196,0–206,3 Па), що свідчить про більш щільну структуру контролю порівняно з розробленими зразками. Високі значення показника активності води (0,967–0,989) підтверджують, що креветочні муси є швидкопсувними продуктами. Аналіз результатів досліджень хімічного складу усіх зразків свідчить про те, що дослідні зразки мусів характеризуються високою харчовою цінністю завдяки значному вмісту білка.

Розроблено технологічну схему виготовлення мусів, яка включає попередню підготовку сировини, ретельне подрібнення суміші та фасування готового продукту.

Подальші дослідження спрямовані на розроблення нормативних документів (ТУ та ТІ) на мусові кулінарні продукти на основі гідробіонтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Biological value and consumer properties of fish pastes / A. Menchynska et al. *Journal of Food Science and Technology*. 2021. Vol. 15. № 3. P. 52–62. URL: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2121>.
2. Доступний морський делікатес – креветки. URL: <http://riara.com.ua/krevetky-chym-korysni-i-shkidlyvi/>.
3. Development and nutritional and sensory evaluation of cachapinta (*Pseudoplatystoma* sp) pãtobo / C.M.D.O. Lobo et al. *Food Sci Nutr*. 2015. Vol. 3. № 1. P. 10–16. URL: <https://doi.org/10.1002/fsn3.183>.
4. Функциональный паштет на основе прудовой рыбы с добавлением кальмара / Л.В. Антипова, Нгуен Тхи Чук Лоан, В.С. Слободяник, М.М. Даньилив. *Пищевая промышленность*. 2011. № 10. С. 70–72.
5. Development of Formulation and Production Technology of Fish Pate for Therapeutic and Prophylactic Purposes / G. Kazhibayeva et al. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8. № 5. P. 1355–1359. URL: <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1193.0585C19>.
6. Безуглова А.В., Касьянов Г.И., Палагина И.А. Технология производства паштетов и фаршей : учебно-практическое пособие. Москва : МарТ, 2004. 304 с.
7. Антипова Л.В., Толпыгина И.Н. Расширение ассортимента рыбных продуктов. *Рыбное хозяйство*. 2002. № 2. С. 52–54.
8. Minozzo M.G., Waszczynskyj N., Boscolo W.R. Utilização de carne mecanicamente separada de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) para a produção de patês cremoso e pastoso. *Alimentos e Nutrição, Araraquara*. 2008. Vol. 19. № 3. P. 315–319.
9. Сафронова Т.М. Справочник дегустатора рыбы и рыбной продукции. Москва : ВНИРО, 1998. 244 с.

REFERENCES:

1. Menchynska, A., Manoli, T., Tyshchenko, L., Pylypchuk, O., Ivanyuta, A., Holembovska, N., et al. (2021). Biological value and consumer properties of fish pastes. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 52–62. Retrieved from: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2121> [in English].
2. Dostupnyi morskyi delikates – krevetky [Available seafood delicacy – shrimp]. Retrieved from: <http://riara.com.ua/krevetky-chym-korysni-i-shkidlyvi/> [in Ukrainian].

3. Lobo, C.M.D.O., Torrezan, R., de Furtado, Â.A.L., Antoniassi, R., Freitas, D.D.G.C., de Freitas, S.C., et al. (2015). Development and nutritional and sensory evaluation of cachapinta (*Pseudoplatystoma* sp) pâté. *Food Sci Nutr.*, vol. 3, no. 1, pp. 10–16. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/fsn3.183> [in English].
 4. Antipova, L.V., Nguen, Thi Chuk Loan, Slobodjanik, V.S., Danyliv, M.M. (2011). Funkcional'nyj pashtet na osnove prudovoj ryby s dobavleniem kal'mara [Functional pâté based on pond fish with squid]. *Pishhevaja promyshlennost' – Food industry*, no. 10, pp. 70–72 [in Russian].
 5. Kazhibayeva, G., Issaeva, K., Mukhamejanova, A., Khayrullin, M., Kulikov, D., Lebedeva, N., et al. (2019). Development of Formulation and Production Technology of Fish Pate for Therapeutic and Prophylactic Purposes. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 1355–1359. Retrieved from: <https://doi.org/10.35940/ijeat.E1193.0585C19> [in English].
 6. Bezuglova, A.V., Kas'janov, G.I., Palagina, I.A. (2004). *Tehnologija proizvodstva pashtetov i farshej [Technology for the production of pates and minced meats]*. Moscow: MarT [in Russian].
 7. Antipova, L.V., Tolpygina, I.N. (2002). Rasshirenie assortimenta rybnyh produktov [Expansion of the range of fish products]. *Rybnoe hozjajstvo – Fish farm*, no. 2, pp. 52–54 [in Russian].
 8. Minozzo, M.G., Waszczynskyj, N., Boscolo, W.R. (2008). Utilização de carne mecanicamente separada de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) para a produção de patês cremoso e pastoso [Use of mechanically separated meat from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) for the production of creamy and pasty pâtés]. *Alimentos e Nutrição, Araraquara*, vol. 19, no. 3, pp. 315–319 [in Portuguese].
 9. Safronova, T.M. (1998). *Spravochnik degustatora ryby i rybnoj produkcii [Fish and fish products taster's guide]*. Moscow: VNIRO [in Russian].
-

УДК 619:614.31:637.1.05/06
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.13>

РОЗРОБКА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ СИРОВИНИ І ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЗГІДНО ЗІ СТАНДАРТАМИ І НОРМАТИВАМИ ЄС

Приліпко Т.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри харчових технологій виробництва
й стандартизації харчових продуктів
Подільського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

Федорів В.М. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації
харчових продуктів
Подільського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-4499-0910

Косташ В.Б. – кандидат сільськогосподарських наук,
асистент кафедри харчових технологій виробництва
й стандартизації харчових продуктів
Подільського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-2182-7723

Наведені результати розробки методів бактеріологічного дослідження у молоці та молокопродуктах. Через причини, пов'язані з відбором проб, методологією та нерівномірним розповсюдженням мікроорганізмів, тільки мікробіологічні дослідження ніколи не можуть гарантувати безпечності харчових продуктів, що досліджуються і безпечність харчових продуктів можна гарантувати шляхом застосування структурованого профілактичного підходу. Обов'язкові мікробіологічні критерії необхідно застосовувати лише стосовно тих продуктів та/або в тих точках харчового ланцюга, у яких неможливо застосовувати інші, більш ефективні, а також у випадках, коли очікується, що мікробіологічний критерій може підвищити ступінь захисту, що пропонується споживачу. Мікроорганізми, що входять до складу компонентів критерію, мають бути загально-визнаними, як такі – патогени або індикаторні організми – що мають відношення до певних харчових продуктів та технологічних процесів. Отримані дані при використанні удосконалених методів виявлення *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* та коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах були стабільними та достовірними, тому ці показники можна використовувати при оцінюванні безпечності молока та молокопродуктів. Встановлено, що метод є економним, простим у виконанні, а його результати дають конкретні якісні показники по червоному забарвленню ізольованих типових колоній *Salmonella*. Розроблений метод пропонується як якісний спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах поряд з іншими методами визначення їх безпечності (визначення загальної кількості мікроорганізмів, визначення бактерій групи кишкової палички, лістерій, сальмонел і має перевагу перед існуючими якісними методами визначення безпечності молока та молокопродуктів тому, що результати мають достовірні показники за забарвленням типових колоній коагулазопозитивних стафілококів. Крім того, слід зазначити, що методи є економними, простими у виконанні, а його результати дають конкретні якісні показники.

Ключові слова: мікробіологічні критерії, безпечність, харчові продукти, система контролю, технологічні процеси, оператори ринку харчових продуктів (ОРХП), молоко, молочні продукти.

Prylipko T.M., Fedoriv V.M., Kostash V.B. Development of modern methods for assessing the quality and safety of raw materials and foodstuffs in accordance with EU standards and regulations

The results of development of methods of bacteriological research in milk and dairy products are given. Due to reasons related to sampling, methodology and uneven distribution of microorganisms, microbiological research alone can never guarantee the safety of the food under study and the safety of food can be guaranteed by applying a structured prevention approach. Mandatory microbiological criteria should be applied only to those products and / or to those points in the food chain where other, more effective ones cannot be used, and in cases where the microbiological criterion is expected to increase the level of protection offered to the consumer. The micro-organisms that are part of the components of the criterion must be generally accepted as such – pathogens or indicator organisms – that are relevant to certain foodstuffs and technological processes. The data obtained using advanced methods for the detection of listeria monocytogenes, salmonella and coagulase-positive staphylococci in milk and dairy products were stable and reliable, therefore, these indicators can be used to assess the safety of milk and dairy products. It was found that the method is economical, easy to perform, and its results give specific quality indicators for the red color of isolated typical Salmonella colonies. The developed method is offered as a qualitative way to improve the horizontal method of detection of coagulase-positive staphylococci in milk and dairy products, along with other methods of determining their safety (determination of total microorganisms, determination of Escherichia coli bacteria, listeria, salmonella because the results have reliable indicators of the color of typical colonies of coagulase-positive staphylococci. In addition, it should be noted that the methods are economical, easy to perform, and its results give specific quality indicators.

Key words: *microbiological criteria, safety, food products, control system, technological processes, food market operators (PSOs), milk, dairy products.*

Постановка проблеми. Відповідно до визначення Комісії «Кодекс Аліментаріус» – мікробіологічний критерій для харчових продуктів визначає прийнятність харчового продукту або партії харчових продуктів на основі присутності або відсутності, або кількості мікроорганізмів, включно паразитів та/або кількість їх токсинів/метаболітів в розрахунку на одиницю маси, об'єм, площі або партії. Головні принципи, викладені в цих трьох документах, ґрунтуються на тому, що мікробіологічні критерії необхідно розробляти та застосовувати тільки там, де існує явна необхідність, а також там, де їх застосування є практично доцільним [1, с. 9–14; 5, с. 29–31; 13, с. 13; 14, с. 15].

Регламент Комісії № 2073/2005 визначає, що для дотримання мікробіологічних критеріїв оператори ринку харчових продуктів повинні розробити програми відбору проб та програми мікробіологічних досліджень цих проб [4, с. 33–35; 12, с. 85–87].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мікроорганізм може знаходитися в сирих харчових продуктах, наприклад, у свіжому м'ясі, сирому молоці та рибі [3, с. 17; 8, с. 15–18; 9, с. 24–26].

Держави-члени ЄС зобов'язані застосовувати мікробіологічні критерії, викладені в Регламенті Комісії (ЄС) № 2073/2005. У цьому документі патогени безпосередньо пов'язані із видом харчового продукту. Ці патогени можуть бути присутніми в інших видах харчових продуктів (наприклад, *Bacillus cereus*). Крім того, існують певні патогени, що не регламентовані законодавством ЄС (наприклад, *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*). У таких випадках держави-члени ЄМ можуть ухвалити національне законодавство або настанови, що регламентують виробництво харчових продуктів на національному рівні.

В Україні існують особливі вимоги щодо мікробіологічних критеріїв безпечності харчових продуктів, що можуть використовуватися тільки на внутрішньому ринку. Разом з тим, ці критерії не можна використовувати для експорту харчових продуктів на ринок Європейського Союзу [8, с. 15–18; 9, с. 24–26].

Тому метою досліджень є розробка методів бактеріологічного дослідження у молоці та молокопродуктах.

Постановка завдання. В основу горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах шляхом використання дослідної суспензії.

В основу методу виявлення *salmonella* у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Salmonella* у молоці та молокопродуктах шляхом зміни кількості використаної дослідної суспензії, яка готується у співвідношенні 1:5 (проби молока та молокопродуктів у кількості 10–11 см³ (г) та 50–55 см³ середовища попереднього концентрування).

В основу методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах шляхом зміни кількості використаної дослідної суспензії, яка готується у співвідношенні 1:5 (проби молока та молокопродуктів у кількості 10–11 см³ (г) та 50–55 см³ селективне середовища попереднього концентрування [2, с. 6–11]).

Виклад основного матеріалу дослідження. У країнах ЄС розроблено загальну стратегію імплементації мікробіологічних критеріїв відповідно до положень Регламенту Європейського Парламенту та Ради (ЄС) № 852/2004 про гігієну харчових продуктів, що передбачає: визначення мікробіологічного критерію, що використовується в законодавстві Спільноти; принципи розробки та застосування критеріїв та пропозиції щодо заходів, що вживатимуться [2, с. 6–11; 7, с. 98–101; 12, с. 85–87; 13, с. 11].

Вказані мікробіологічні критерії вказують на прийнятність харчових продуктів та технологічних процесів для їх виробництва. Проте, застосування мікробіологічних критеріїв має певні обмеження. Через причини, пов'язані з відбором проб, методологією та нерівномірним розповсюдженням мікроорганізмів, тільки мікробіологічні дослідження ніколи не можуть гарантувати безпечності харчових продуктів, що досліджуються. Таким чином, безпечність харчових продуктів, в принципі, можна гарантувати шляхом застосування структурованого профілактичного підходу [3, с. 17; 4, с. 33–38, 15–18].

Критерії, встановлені для кінцевих продуктів (критерії безпечності харчових продуктів) можуть застосовуватися до харчових продуктів, готових до розміщення або вже розміщених на ринку, які застосовуються на етапі продажу харчових продуктів, їх доставки до кінцевих споживачів, а також до операторів роздрібною торгівлі, а також ці критерії застосовуються в пунктах ввезення харчових продуктів на територію ЄС у випадку їх імпорту із третіх країн.

Визначені для технологічних процесів критерії – критерії гігієни технологічних процесів – застосовуються тільки до харчових підприємств, що виготовляють або виробляють харчові продукти. Вони встановлені для харчового продукту на визначених етапах його виробництва та не застосовуються до харчових продуктів, що вже розміщені на ринку, які зазвичай використовується для перевірки технологічних процесів з виробництва та виготовлення харчових продуктів.

Регламент Комісії № 2073/2005 встановлює мікробіологічні критерії для певних патогенів у визначених харчових продуктах, а також встановлює критерії для *Listeria monocytogenes* для всіх готових до споживання харчових продуктів. Так, критерії безпечності харчових продуктів визначають у: фарші та напівфабрикатах для споживання в сирому вигляді (*Salmonella*); желатині та колагені (*Salmonella*);

сирі, маслі та сметані, що вироблені із сирого молока (*Salmonella*, стафілококові ентеротоксини); сухому молоці та сухій сироватці (*Salmonella*); морозиві, що виготовлене з молока (*Salmonella*); яєчних продуктах (сирих) (*Salmonella*); варених раках та моллюсках (*Salmonella*); живих двостулкових моллюсках та живих голкошкірих (*Salmonella*, *E. coli*); проростках насіння (*Salmonella*); сухих сумішах для немовлят та сухих дієтичних харчових продуктах для спеціальних медичних потреб (для немовлят у віці до 6 місяців) (*Salmonella*, *Cronobacter*); сухих сумішах для немовлят у віці старше 4 місяців (*Salmonella*).

Критерії гігієни технологічних процесів визначають у: фарші (кількість аеробних колоній); пастеризованому молоці та пастеризованих рідких молочних продуктах (ентеробактерії); сирі, виготовленого з молока та сироватки, що зазнала термічної обробки (*E. coli*); сирі, виготовленого з сирого молока або молока, обробленого термічно за температури нижче температури пастеризації (коагулазо-позитивні стафілококи); маслі та сметані (*E. coli*); сухому молоці та сухій сироватці ентеробактерії та коагулазо-позитивні стафілококи); морозиві та заморожених молочних десертах (ентеробактерії); сухих сумішах для немовлят у віці до 6 місяців та сухих сумішах для немовлят у віці старше 4 місяців харчування (ентеробактерії та ймовірний *Bacillus cereus*); яєчних продуктах (ентеробактерії); заздалегідь нарізаних фруктах та овочах (готові до споживання) (*E. coli*); не пастеризованих фруктових та овочевих соках (готові до споживання) (*E. coli*).

Для більшості критеріїв вказаний певний вид харчових продуктів. Це не стосується *Listeria monocytogenes*, яка може бути пов'язаною із майже усіма готовими до споживання продуктами. *Listeria monocytogenes* є патогеном, що переноситься з харчовими продуктами та може спричиняти захворювання людей. *Listeria monocytogenes* часто превалює в навколишньому середовищі: ґрунтах, рослинності та фекаліях тварин.

Повсюдне розповсюдження та підвищена в порівнянні з більшістю інших мікроорганізмів здатність зростати або виживати в охолодженому середовищі робить *Listeria monocytogenes* значним фактором ризику у виробництві харчових продуктів, що особливо стосується готових до споживання харчових продуктів, що не піддаються термічній обробці у процесі виробництва, а також харчових продуктів, що можуть бути забруднені через середовище, включно виробниче середовище, у процесі їх виробництва.

Саме тому дуже важливо: щоб виробники готових до споживання харчових продуктів (призначених їх виробником для безпосереднього споживання людиною без необхідності піддавати їх тепловій або іншій переробці з метою знищення або зменшення до придатного рівня кількості мікроорганізмів) вживали заходів з метою контролю за *Listeria monocytogenes*, а також її зростанням у харчових продуктах до кінця строку їх придатності; накопичувати знання про потенційне зростання бактерій в харчових продуктах та документувати ці факти.

Виробник повинен враховувати це під час визначення безпечного терміну придатності харчових продуктів; строком придатності є час, протягом якого харчовий продукт залишається безпечним та відповідає вимогам якості за умови дотримання вимог щодо його зберігання та використання.

Регламент Комісії № 2073/2005 містить критерії для *Listeria monocytogenes* у харчових продуктах (табл. 1).

У разі необхідності ОРХП, відповідальний за виробництво харчових продуктів, зобов'язується проводити дослідження з метою перевірки дотримання критеріїв безпечності упродовж строку придатності. Зокрема, це стосується готових до

споживання харчових продуктів, які здатні підтримувати зростання *L. monocytogenes*, що, своєю чергою, може становити загрозу для здоров'я населення. З метою надання допомоги представникам харчової промисловості у прийнятті рішення щодо необхідності проведення дослідження на здатність підтримувати зростання патогенну було розроблено настанови [2, с. 6–11; 11, с. 27; 12, с. 85–87; 13, с. 5].

Таблиця 1

Критерії для *Listeria monocytogenes* у харчових продуктах

1.	Харчові продукти, готові до споживання немовлятами, та готові до споживання продукти, призначені для спеціальних медичних потреб	
	План відбору проб	n=10, c=0
	Межа	M=m= відсутність у 25 г
2.	Етап	продукти розміщені на ринку, протягом їх строку придатності
	Готові до споживання харчові продукти, здатні підтримувати зростання бактерій <i>L. monocytogenes</i>	
	План відбору проб	n=5, c=0
3.	2 Межі	100 КУО/г або відсутність у 25 г
	2 Етапи	продукти розміщені на ринку, протягом їх строку придатності або перед відправленням харчових продуктів від операторів ринку харчових продуктів (ОРХП)
	Готові до споживання харчові продукти, не здатні підтримувати зростання бактерій <i>L. monocytogenes</i>	
	План відбору проб	n=5, c=0
	Межа	100 КУО/г
	Етап	продукти розміщені на ринку протягом їхнього строку придатності

Спеціально для харчових продуктів, здатних підтримувати зростання *Listeria monocytogenes*, центральна референт-лабораторія ЄС для дослідження *Listeria* розробила настанови для дослідження готових харчових продуктів на їх вміст [7, с. 98–101; 12, с. 85–87]. Наприкінці строку придатності харчового продукту кількість *Listeria monocytogenes* не має перевищувати 100 КУО/г.

Регламент Комісії (ЄС) № 2073/2005 прописує частоту відбору проб туш великої рогатої худоби, свиней, овець, кіз, коней та птиці на бійнях та на потужностях, що виробляють м'ясний фарш та м'ясні напівфабрикати. Ці продукти мають високий ризик забруднення мікроорганізмами. До середнього ступеня ризику відносять інші харчові продукти.

Загальні рекомендації щодо частоти відбору проб для групи харчових продуктів із високим і середнім ступенем ризику вказано у таблиці 2.

До категорії ризику високого відносяться: туші, свіже м'ясо, м'ясні напівфабрикати, готові харчові продукти для споживачів певних груп ризику (дитячі суміші). До середнього ступеня ризику відносяться всі інші харчові продукти, що зазначені в Регламенті. При задовільних результатах упродовж тривалого часу (30 тижнів або 15 місяців) є можливість зменшити частоту відбору проб. При низькому ступені ризику, до якого відносяться всі інші також харчові продукти, структурований відбір проб непотрібний.

Таблиця 2

Частота відбору проб харчових продуктів

Категорія ризику харчових продуктів	Великі за розміром ОРХП (для міжнародних ринків, великі за розміром для внутрішнього ринку України)	Середні за розміром ОРХП (всі ОРХП, що не належать до групи малих та великих)	Малі за розміром ОРХП та сектор послуг (традиційні (малі) підприємства)
Високий	1 раз на тиждень	1 раз на два тижні	Національні правила
Середній	1 раз на місяць	1 раз на 2 місяці	Національні правила

Лабораторії, що здійснюють дослідження для операторів ринку харчових продуктів, а також методи досліджень встановлення мікробіологічних критерій та матриця для дослідження були акредитовані (за стандартом ISO 17025) [3, с. 17; 15, с. 8; 16, с. 10] Національною акредитаційною радою, або, за її відсутності – еквівалентною організацією, визнаною Європейським Агентством з акредитації або Міжнародною асоціацією з акредитації лабораторій.

В основу горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах шляхом використання дослідної суспензії.

Проведеними дослідженнями встановлено, що були виявлені колонії *Listeria monocytogenes* через 24±2 години маленькі розміром 1,5–2,0 мм сіро-зеленого чи оливково-зеленого кольору, інколи з чорним ореолом; через 46±2 год. – зеленого кольору із запалим центром та чорним ореолом у наступних пробах молока та молокопродуктах: у 3-х пробах молока сирого та сиру плавленого; у 2-х пробах вершків, сиру кисломолочного та масла вершкового; у 1 пробі сиру твердого та спреду. У пробах молока та вершках пастеризованих характерних колоній *Listeria monocytogenes* не було виявлено.

Дані були стабільними та достовірними, отже, ці показники можна використовувати при оцінюванні безпечності молока та молокопродуктів. Крім того, слід зазначити, що метод є економним, простим у виконанні, а його результати дають конкретні якісні показники по забарвленню та розміру колоній *Listeria monocytogenes*.

Метод нами пропонується як якісний спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах поряд з іншими методами визначення їх безпечності (визначення загальної кількості мікроорганізмів (КМАФАнМ), визначення бактерій групи кишкової палички, сальмонел, стафілококів) [3, с. 17; 10, с. 8].

Метод має перевагу перед наявними якісними методами визначення безпечності молока та молокопродуктів тому, що результати мають достовірні показники за забарвленням та розміром колоній *Listeria monocytogenes*.

Таблиця 3

**Показники удосконаленого горизонтального методу виявлення
Listeria monocytogenes у молоці та молокопродуктах за прикладом № 3**

№ п/п	Перелік видів досліджуваних проб молока та молокопродуктів	Виявлення <i>Listeria monocytogenes</i> за забарвленням та розміром колоній за прикладом № 3			
		Кількість проб	Наявність колоній <i>Listeria monocytogenes</i>	Кількість проб	Відсутність колоній <i>Listeria monocytogenes</i>
1	Молоко сире (уміст жиру 3,7%), n=10	n=3	Через 24±2 год. колонії маленькі (1,5–2,0мм) сіро-зелені чи оливково-зелені, інколи з чорним ореолом. Через 46±2 год. колонії (1,5–2,0-мм) зеленого кольору із запалим центром та чорним ореолом	n=8	Характерних колоній <i>Listeria monocytogenes</i> не виявлено
2	Молоко пастеризоване (уміст жиру 2,8%), n=10	n=0		n=10	
3	Вершки, n=6	n=2		n=4	
4	Вершки пастеризовані, n=5	n=0		n=5	
5	Сир кисломолочний, n=6	n=2		n=4	
6	Сир твердий, n=7	n=1		n=6	
7	Сир плавлений, n=8	n=3		n=5	
8	Масло вершкове, n=9	n=2		n=7	
9	Спред, n=6	n=1		n=5	

В основу методу виявлення *salmonella* у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Salmonella* у молоці та молокопродуктах шляхом зміни кількості використаної дослідної суспензії, яка готується у співвідношенні 1:5 (проби молока та молокопродуктів у кількості 10–11 см³ (г) та 50–55 см³ середовища попереднього концентрування (буферизованої пептонної води), послідовним інкубуванням отриманої суспензії упродовж 16±2 годин за температури 35±1°C та наступним селективним концентруванням: отриману культуру у кількості 0,06–0,07 см³ переносять у пробірку, в якій міститься 5,0–5,1 см³ середовища RV (середовище хлориду малахітового зеленого Раппапорта-Васіліадіса) та 5–6 см³ цієї отриманої культури також переносять у колбу, що містить 50–51 см³ середовища селеніту цистину. Витримують ці два засіяних середовища відповідно у термостаті за температури 41±1°C упродовж 23±1 годин та за температури 35±1°C упродовж 23±1 годин, потім здійснюють посів отриманої культури із двох середовищ за допомогою електронного контуру на поверхню чашки Петрі у кількості 2,0–2,5 см³, що містить тверде селективне середовище – феноловий червоний-брильянтовий зелений агар-агар та витримують за температури 35±1°C упродовж 23±2 годин, щоб отримати ізольовані типові колонії *Salmonella* червоного кольору при зміні середовища з рожевого на червоний колір.

Проведеними дослідженнями встановлено, що були виявлені ізольовані типові колонії червоного кольору *Salmonella* через 23±2 години за температури 35±1°C у наступних пробах молока та молокопродуктах: у 7 пробах молока сирого; у 4-х пробах вершків та масла вершкового; у 3-х пробах сиру плавленого та середях; у 2-х пробах сиру кисломолочного та сиру твердого і у 1 пробі молока пастеризованого. У вершках пастеризованих характерних колоній червоного кольору *Salmonella* не було виявлено.

Таблиця 4

Показники виявлення удосконаленого горизонтального методу виявлення *Salmonella* у молоці та молокопродуктах за прикладом № 3

№ п/п	Перелік видів проб досліджуваного молока і молокопродуктів	Виявлення <i>Salmonella</i> за забарвленням та розміром колоній за прикладом № 3			
		Кількість проб	Наявність колоній <i>Salmonella</i>	Кількість проб	Відсутність колоній <i>Listeria monocytogenes</i>
1	Молоко сире (уміст жиру 3,7%), n=10	n=7	Ізольовані типові колонії червоного кольору <i>Salmonella</i> виявлено	n=3	Характерних ізольованих типових колоній червоного кольору <i>Salmonella</i> не виявлено
2	Молоко пастеризоване (уміст жиру 2,8%), n=10	n=1		n=9	
3	Вершки, n=6	n=4		n=2	
4	Вершки пастеризовані, n=5	n=0		n=5	
5	Сир кисломолочний, n=6	n=2		n=4	
6	Сир твердий, n=7	n=2		n=5	
7	Сир плавлений, n=8	n=3		n=5	
8	Масло вершкове, n=9	n=4		n=5	
9	Спред, n=6	n=3		n=3	

Отримані результати були стабільними та достовірними, отже, ці показники можна використовувати при оцінюванні безпечності молока та молокопродуктів. Крім того, слід зазначити, що метод є економним, простим у виконанні, а його результати дають конкретні якісні показники по червоному забарвленню ізольованих типових колоній *Salmonella*.

Метод нами пропонується як якісний спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Salmonella* у молоці та молокопродуктах поряд з іншими методами визначення їх безпечності (визначення загальної кількості мікроорганізмів (КМАФАМ), визначення бактерій групи кишкової палички, лістерій, стафілококів) [2, с. 6–11; 7, с. 98–101; 17, с. 12].

Метод має перевагу перед наявними якісними методами визначення безпечності молока та молокопродуктів тому, що результати мають достовірні показники за червоним забарвленням ізольованих типових колоній *Salmonella*.

В основу методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах покладено завдання – розробити спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах шляхом зміни кількості використаної дослідної суспензії.

Проведеними дослідженнями встановлено, що були виявлені типові колонії коагулазопозитивних стафілококів через 24 ± 1 та 48 ± 1 годин за температури $35 \pm 1^\circ\text{C}$ у наступних пробах молока та молокопродуктах: у 3-х пробах вершків; у 2-х пробах молока сирого, масла вершкового та спреда; у 1 пробі сиру кисломолочного, сиру твердого, сиру плавленого. У молоці пастеризованому, вершках пастеризованих типових колоній коагулазопозитивних стафілококів не було виявлено.

Ці дані були стабільними та достовірними, отже, ці показники можна використовувати при оцінюванні безпечності молока та молокопродуктів. Крім того, слід зазначити, що метод є економним, простим у виконанні, а його результати

дають конкретні якісні показники по забарвленню типових колоній коагулазопозитивних стафілококів чорного або сірого кольору, блискучих і випуклих, діаметром 1,0–1,5 мм (через 48±1 годин – діаметром 1,5–2,5 мм) і оточених чистою зоною, яка через 24±1 годин інкубації має опалесценцію кільця.

Таблиця 5

Показники виявлення удосконаленого горизонтального методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах за прикладом № 3

№ п/п	Перелік видів досліджуваних проб молока та молокопродуктів	Виявлення коагулазопозитивних стафілококів за забарвленням та розміром колоній за прикладом № 3			
		Кількість проб	Наявність колоній коагулазопозитивних стафілококів	Кількість проб	Відсутність колоній коагулазопозитивних стафілококів
1	Молоко сире (уміст жиру 3,7%), n=10	n=2	Через 24±1 год типові колонії чорні або сірі, блискучі і випуклі діаметром 1,0–1,5 мм (через 48±1 годин – діаметром 1,5–2,5 мм) і оточені чистою зоною, яка через 24 год інкубації має опалесценцію кільця	n=8	Нетипові колонії блискучі чорні з/ або без вузького білого краю, чиста зона відсутня, опалесцентне кільце теж відсутнє чи ледве помітне; сірі колонії без чистих зон
2	Молоко пастеризоване (уміст жиру 2,8%), n=10	n=0		n=10	
3	Вершки, n=6	n=3		n=3	
4	Вершки пастеризовані, n=5	n=0		n=5	
5	Сир кисломолочний, n=6	n=1		n=5	
6	Сир твердий, n=7	n=1		n=6	
7	Сир плавлений, n=8	n=1		n=7	
8	Масло вершкове, n=9	n=2		n=8	
9	Спред, n=6	n=2		n=4	

Метод нами пропонується як якісний спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення коагулазопозитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах поряд із іншими методами визначення їх безпечності (визначення загальної кількості мікроорганізмів (КМАФАМ), визначення бактерій групи кишкової палички, лістерій, сальмонел) [5; 6]. Метод має перевагу перед існуючими якісними методами визначення безпечності молока та молокопродуктів тому, що результати мають достовірні показники за забарвленням типових колоній коагулазопозитивних стафілококів.

Висновки. Дані, отримані в дослідженнях, були стабільними та достовірними, отже, ці показники можна використовувати під час оцінювання безпечності молока та молокопродуктів. Крім того, слід зазначити, що методи є економними, простими у виконанні, а результати дають конкретні якісні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. 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.

2. Lyasota V.P., Bakhur T.I., Utechenko M.V. Effect of a complex prebiotic preparation on the preservation, growth intensity and microflora in rabbits' intestine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. (10) 6, 6–11.

3. Мікробіологія харчових продуктів та кормів для тварин. Горизонтальний метод виявлення та підрахування *Listeria monocytogenes*. Частина 1. Метод виявлення (ISO 11290-1:1996, ITD): *ДСТУ ISO 11290-1:2003*. Держспоживстандарт України, 2005. 18 с. (Національний стандарт України).

4. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод виявлення *Salmonella*: *ДСТУ EN 12824:2004*. Держспоживстандарт України, 2005. 20 с. (Національний стандарт України).

5. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод підрахування коагулазопозитивних стафілококів. Частина 1. Метод з використанням агарового середовища Беард-Паркера (ISO 6888-1:1999, ITD): *ДСТУ ISO 6888-1:2003*. Держспоживстандарт України 2005. 10 с. (Національний стандарт України).

6. Приліпко Т.М. Показники безпеки тваринницької продукції. *Продовольча індустрія АПК*. 2012. № 2. С. 33–35.

7. Приліпко Т.М. Особливості відбору проб для мікробіологічного аналізу продукції тваринництва. *Зоотехнічна наука: історія, проблеми, перспективи: мат. III Міжнар. наук.-практ. конф. Подільський ДАТУ, 21–22 травня*). Кам'янець-Подільський. 2015. С. 29–31.

8. Приліпко Т.М. Контроль показників якості йогуртів різних молокопереробних підприємств. *Продовольча індустрія*. 2013. № 5. С. 14–15.

9. Приліпко Т.М. Мікробіологічні процеси у молоці за різних температур зберігання. *Сільськогосподарські науки: зб. наук. праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. Вип. 22. Кам'янець-Подільський, 2014. С. 98–101.

10. Букалова Н.В. Підвищення якості молока та продуктивності лактуючих корів на основі етологічних принципів. *Тваринництво України*. 2013. № 4. С. 15–18.

11. Букалова Н.В. Оцінка показників безпеки та якості питного коров'ячого молока вітчизняних виробників. *Біологічні і технологічні аспекти виробництва та переробки продукції тваринництва в контексті євроінтеграції: мат. міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 90-річчю Подільського державного аграрно-технічного університету (21–23 травня 2009 р.)*. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2009. С. 24–26.

12. Молоко коров'яче – сировина. Технічні умови: *ДСТУ 3662:2015*. [Чинний від 08.10.2017 р.]. Мінекономрозвитку України, 2017. 12 с. (Національний стандарт України).

13. Молоко та молочні продукти. Методи мікробіологічного контролювання: *ДСТУ 7357:2013*. Мінекономрозвитку України, 2014. 35 с. (Національний стандарт України).

14. Tetiana Prylipko, Lesia Prylipko Task and priorities of public policy of Ukraine in industries of safety of foodstuffs and international normatively-legal bases of safety of food products. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects»* (Latvijas Republika, Rīga, 01–02 September 2016). 2016. 85–87.

15. Спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Listeria monocytogenes* у молоці та молокопродуктах: Патент на корисну модель 115758 Україна. МПК (2017.01) GO 1 N 33\04 , A23C 7\00 Богатко Н.М. та ін. ; заявл. 15.11.2016 ; опубл. 25.04.2017. Бюл. № 8. Заявник і патентовласник : Богатко Н.М., Букалова Н.В., Приліпко Т.М. U115758

16. Спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення *Salmonella* у молоці та молокопродуктах: Патент на корисну модель 115758 Україна, МПК (2017.01) GO 1 N 33\04, A23C 7\00 Богатко Н.М. та ін.; заявл. 15.11.2016; опубл.

25.04.2017, Бюл. № 8. Заявник і патентовласник : Богатко Н.М., Букалова Н.В., Приліпко Т.М. U115759

17. Спосіб удосконалення горизонтального методу виявлення коагулазо-позитивних стафілококів у молоці та молокопродуктах: Патент на корисну модель 115760 Україна. МПК (2017.01) GO 1 N 33\04, A23C7\00 Богатко Н.М. та ін.; заявл. 15.11.2016; опубл. 25.04.2017. Бюл. № 8. Заявник і патентовласник : Богатко Н.М., Букалова Н.В., Приліпко Т.М. U115760

REFERENCES:

1. 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.

2. Lyasota V.P., Bakhur T.I., Utechenko M.V. Effect of a complex prebiotic preparation on the preservation, growth intensity and microflora in rabbits' intestine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. (10) 6, 6–11.

3. Mikrobiolohiia kharchovykh produktiv ta kormiv dlia tvaryn. Horyzontalniy metod vyiavlennia ta pidrakhuvannia *Listeria monocytogenes*. Chastyna 1. Metod vyiavlennia (ISO 11290-1:1996, ITD): DSTU ISO 11290-1:2003. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2005. 18 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

4. Mikrobiolohiia kharchovykh produktiv i kormiv dlia tvaryn. Horyzontalniy metod vyiavlennia *Salmonella*: DSTU EN 12824:2004. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2005. 20 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

5. Mikrobiolohiia kharchovykh produktiv i kormiv dlia tvaryn. Horyzontalniy metod pidrakhuvannia koagulazopozytyvnykh stafilokokiv. Chastyna 1. Metod z vykorystovuvanniam aharovoho seredovyscha Beard-Parkera (ISO 6888-1:1999, ITD): DSTU ISO 6888-1:2003. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. 2005. 10 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

6. Prylipko T.M. (2012) Pokaznyky bezpeky tvarynnytskoi produktsii. *Prodovolcha industriia APK*. no 2. S.33–35.

7. Prylipko T.M. (2015) Osoblyvosti vidboru prob dlia mikrobiolohichnoho analizu produktsii tvarynnytsva. *Zootekhnichna nauka: istoriia, problemy, perspektyvy*: Mat. III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Podilskyi DATU, 21–22 travnia. Kamianets-Podilskyi. S. 29–31.

8. Prylipko T.M. (2013) Kontrol pokaznykiv yakosti yohurtiv riznykh molokopererobnykh pidpriemstv. *Prodovolcha industriia*. no 5. S. 14–15.

9. Prylipko T.M. (2014) Mikrobiolohichni protsesy u molotsi za riznykh temperatur zberihannia. *Silskohospodarski nauky*: Zb. nauk. prats Podilskoho derzhavnogo aharno-tekhnichnoho universytetu. Kamianets-Podilskyi. Vol. 22. S. 98–101.

10. Bukalova N.V. (2013) Pidvyshchennia yakosti moloka ta produktyvnosti laktuiuchykh koriv na osnovi etolohichnykh pryntsypiv. *Tvarynnytsvo Ukrainy*. no 4. S. 15–18.

11. Bukalova N.V. (2009) Otsinka pokaznykiv bezpeky ta yakosti pytnoho koroviachoho moloka vitchyznianskykh vyrobnykiv. *Biolohichni i tekhnolohichni aspekty vyrobnytsva ta pererobky produktsii tvarynnytsva v konteksti yevrointehratsii*: mat. mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysviachenoi 90-richchii Podilskoho derzhavnogo aharno-tekhnichnoho universytetu (21–23 travnia 2009 r.). Kamianets-Podilskyi: P DATU. S. 24–26.

12. Moloko koroviache – syrovyna. Tekhnichni umovy: *DSTU 3662:2015*. [Chynnyi vid 08.10.2017 r.]. Minekonomrozvytku Ukrainy, 2017. 12 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

13. Moloko ta molochni produkty. Metody mikrobiolohichnoho kontroliuvannia: *DSTU 7357:2013*. Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 35 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).

14. Tetiana Prylipko, Lesia Prylipko Task and priorities of public policy of Ukraine in industries of safety of foodstuffs and international normatively-legal bases of safety of food products. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects»* (Latvijas Republika, Rīga, 01–02 September 2016). 2016. S. 85–87.

15. Sposib udoskonalennia horyzontalnoho metodu vyivlennia Liateria monocytogenes u molotsi ta moloproduktakh: Patent na korysnu model 115758 Ukraina. MPK (2017.01) GO 1 N 33\04, A 23S7\00 Bohatko N.M. ta in. ; zaiavl. 15.11.2016 ; opubl. 25.04.2017. Biul. no 8. Zaiavnyk i patentovlasnyk : Bohatko N.M., Bukalova N.V., Prylipko T.M. U115758

16. Sposib udoskonalennia horyzontalnoho metodu vyivlennia Salmonella u molotsi ta moloproduktakh: Patent na korysnu model 115758 Ukraina, MPK (2017.01) GO 1 N 33\04 , A23S 7\00 Bohatko N.M. ta in. ; zaiavl. 15.11.2016 ; opubl. 25.04.2017, Biul. no 8. Zaiavnyk i patentovlasnyk : Bohatko N.M., Bukalova N.V., Prylipko T.M. U115759

17. Sposib udoskonalennia horyzontalnoho metodu vyivlennia koahulazopozytyvnykh stafilokokiv u molotsi ta moloproduktakh: Patent na korysnu model 115760 Ukraina. MPK (2017.01) GO 1 N 33\04 , A23S 7\00 Bohatko N.M. ta in. ; zaiavl. 15.11.2016 ; opubl. 25.04.2017. Biul. no 8. Zaiavnyk i patentovlasnyk : Bohatko N.M., Bukalova N.V., Prylipko T.M. U115760

УДК 637.52

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.14>

ЕКСПЕРТИЗА М'ЯСНИХ КУЛІНАРНИХ СТРАВ ДІЄТИЧНОГО СПРЯМУВАННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ

Ряполова І.О. – кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-7672-6639

Створення м'ясних продуктів оздоровчого призначення – це важливе соціальне й наукове завдання. Воно спрямоване на зменшення малоцінних інгредієнтів, які містяться у сировині. Дієтичні і лікувально-профілактичні продукти призначені виконувати певну роль в аспекті фізіології харчування, збільшуючи надходження певних поживних компонентів і біологічно активних речовин.

Робота присвячена дослідженню показників якості розробленої м'ясної кулінарної страви, проаналізована можливість використання зелені шпинату як функціональної рослинної сировини та птишиного м'яса для створення м'ясних січених виробів дієтичного спрямування для ресторанної подачі. Розроблена рецептура виготовлення м'ясного хліба з філе курки і зелені шпинату у двох варіантах (10 і 15%) і м'ясного хліба з філе індики у таких же комбінаціях та проведено порівняльний аналіз.

Проведені дослідження органолептичної якості, фізико-хімічних і функціонально-технологічних показників дають можливість стверджувати, що вироби з птишиного м'яса (як з курячого, так і індичого філе) і рослинної сировини II варіанту (15% шпинату і 2% гарбузового насіння) мають більш виражене дієтичне направлення (за вмістом мікронутрієнтів), кращі за смаковими якостями, мають ніжну консистенцію і більшу пластичність, володіють більшою вологостримуючою здатністю і втрачають менше маси під час термічної обробки. Показники якості січених м'ясних виробів дієтичного призначення, а саме м'ясного хлібу, свідчать про можливість зберігання готової продукції протягом 48 годин, позаяк такий вид виробів може подаватися як у гарячому, так і в охолодженому вигляді.

З метою розширення асортименту страв для поціновувачів здорового харчування можна пропонувати закладам ресторанного господарства вводити у склад меню м'ясні січені страви дієтичного призначення з м'яса птиців з рослинною сировиною, а саме зеленню шпинату у кількості 15% і насіння гарбуза – 2%.

Ключові слова: січені вироби, дієтичне спрямування, м'ясний хліб, куряче філе, індиче філе, шпинат, органолептичні показники, фізико-хімічні показники, показники якості.

Ryapolova I.O. Examination of dietary meat dishes according to quality indicators

Creating health meat products is an important social and scientific task. It aims to reduce the low-value ingredients contained in raw materials. Dietary and therapeutic products are designed to play a role in the physiology of nutrition, increasing the intake of certain nutrients and biologically active substances.

The work is devoted to the study of quality indicators of the developed meat culinary dish, analyzed the possibility of using spinach greens as a functional vegetable raw material and poultry meat to create chopped meat products for dietary purposes. A recipe for making meat bread from chicken fillet and spinach in two versions (10 and 15%) and meat bread from turkey fillet in the same combinations was developed and a comparative analysis was performed.

Studies of organoleptic quality, physico-chemical and functional-technological indicators, make it possible to say that products from poultry (both chicken and turkey fillets) and vegetable raw materials of the second option (15% spinach and 2% pumpkin seeds), have a more pronounced dietary direction (in terms of micronutrients), better in taste, have gentle consistency and greater plasticity, have greater moisture retention capacity and lose less weight during heat treatment. Quality indicators of cut meat products for dietary purposes, namely meat bread, indicate the possibility of storing the finished product for 48 hours, as this type of product can be served both hot and chilled.

In order to expand the range of dishes for connoisseurs of healthy eating, you can offer restaurants to include in the menu chopped meat dishes for dietary purposes from poultry meat with raw materials, namely spinach in the amount of 15% and pumpkin seeds – 2%.

Key words: cut products, dietary direction, meat bread, chicken fillet, turkey fillet, spinach, organoleptic indicators, physicochemical indicators, quality indicators.

Вступ. У наш час шанувальники здорового способу життя все більше уваги звертають на якість і безпечність харчової продукції як на лавках супермаркетів, так і у закладах ресторанного господарства, вимагаючи від виробників належного маркування із зазначенням складу продукту. Виробники, своєю чергою, докладають зусиль до задоволення потреб вимогливих споживачів, пропонуючи готові харчові продукти функціонального чи дієтичного призначення.

Методологія та технологія, що використовуються під час створення і виробництва продуктів дієтичного, оздоровчого призначення у сучасних умовах, базуються на комплексному дослідженні і розробці процесів у разі отримання основної та додаткової сировини, моделювання рецептурного складу і технологічних процесів виробництва, а також розв'язання питання збереження основних властивостей продуктів до часу їх споживання.

Постановка проблеми. Дієтичні і лікувально-профілактичні продукти призначені виконувати певну роль в аспекті фізіології харчування, збільшуючи надходження певних поживних компонентів і біологічно активних речовин [1].

Створення м'ясних продуктів оздоровчого призначення – це важливе соціальне й наукове завдання. Воно спрямоване на зменшення малоцінних інгредієнтів, які містяться у м'ясній сировині. У зв'язку з цим велика увага приділяється харчовим добавкам, отриманим з горіхів, фруктів, овочів, трав і спецій. Їх використовують з метою збагачення продуктів харчовими волокнами, мікро- і макроелементами, для збільшення терміну зберігання, поліпшення смакових характеристик і розширення асортименту продуктів на м'ясній, рослинній, м'ясо-рослинній основі, в тому числі різних видів охолоджених і заморожених напівфабрикатів.

Оздоровчі продукти з м'ясної сировини мають фізіологічне значення для людей, які страждають від ожиріння, серцево-судинних захворювань, їм необхідно збільшити частку тваринного білка до 70%, тоді як для здорової людини рекомендовано до 50% від загальної кількості. Біологічно активні речовини (мінеральні – цинк, залізо, селен, вітаміни, жирні кислоти, харчові волокна), які містяться у м'ясі та мають широкий спектр фізіологічної дії, визначають його функціональні властивості. Як зазначають М.І Пересічний та ін., вони стимулюють активність ферментної системи, виконують антиоксидантну дію і детоксикацію, підвищують резистентність та імунний потенціал [2].

Мета досліджень. Дослідження присвячені визначенню показників якості розробленої кулінарної м'ясної продукції з дієтичними властивостями, яку можна пропонувати для ресторанної подачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До дієтичного харчування належать продукти, які застосовуються у разі різних захворювань, які в комплексі з лікувальними заходами сприяють відновленню життєвих функцій організму хворого. Продукти, що входять до дієти, становлять добовий харчовий раціон з конкретним лікувальним призначенням. Науковці-технологи, розробляючи дієту (продукт), зважають на певний хімічний склад, калорійність, температуру, структуру їжі, набір дозволених продуктів для різних груп населення [3; 4; 5].

За твердженням учених, харчовий раціон людини повинен містити більше шестисот речовин. Від того, скільки їх у продукті і в яких пропорціях вони поєднуються, залежать його профілактичні, дієтичні і лікувальні властивості. Дієтичне та лікувально-профілактичне харчування ґрунтується на розумному обмеженні або збільшенні в раціоні окремих харчових речовин [6; 7].

Серед дієтичних і лікувально-профілактичних продуктів особливе місце відводиться м'ясним продуктам. Під час розробки м'ясних дієтичних

і лікувально-профілактичних продуктів використовуються такі компоненти, як овочеві наповнювачі (овочева мезга, овочеві добавки, суміш сирих овочів – морква, картопля, буряк, капуста), сирі рис і пшоно, сири різних сортів і поєднань, мелене насіння кропу, соєвий білок, гранульований соєвий ізолят, пшенична клейковина і висівки, модифіковані зернові наповнювачі, суха кров, фрукти, перець, кабачки, баклажани, замітник кухонної солі (реді-сіль) і т. д.

Серед дієтичних і лікувально-профілактичних продуктів особливе місце відводиться м'ясним продуктам. Під час розробки м'ясних дієтичних і лікувально-профілактичних продуктів використовуються такі компоненти, як овочеві наповнювачі (овочева мезга, овочеві добавки, суміш сирих овочів – морква, картопля, буряк, капуста), сирі рис і пшоно, сири різних сортів і поєднань, мелене насіння кропу, соєвий білок, гранульований соєвий ізолят, пшенична клейковина і висівки, модифіковані зернові наповнювачі, суха кров, фрукти, перець, кабачки, баклажани, замітник кухонної солі (реді-сіль) і т. д. [8; 9; 10].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дієтичні властивості м'ясної кулінарної продукції головним чином залежать від вихідної сировини. Відомо, що м'ясо птиці володіє дієтичними властивостями, а як допоміжну рослинну сировину, яка добре поєднується з дієтичним м'ясом, вибрано шпинат свіжий або заморожений та ядра гарбузового насіння.

З урахуванням корисних властивостей вибраної рослинної сировини (шпинату і гарбузового насіння) під час створення м'ясної кулінарної продукції дієтичного призначення розроблено модельні зразки м'ясного хліба (**poultry bread**) для банкетної подачі у чотирьох варіантах: по два з філе курки (**chicken bread**) з різним процентом вмісту шпинату (10 і 15%) та гарбузовим насінням (2%) і по два з індиного філе (**turkey bread**) з таким же вмістом шпинату і насіння гарбуза.

Для вибору оптимального співвідношення м'ясної і рослинної сировини у кулінарних січених виробих дієтичного призначення проведено оцінку органолептичних показників готової продукції і лабораторні дослідження, які включали фізико-хімічні, структурно-механічні, функціонально-технологічні показники.

Органолептичну оцінку готовим виробам давала дегустаційна комісія – кваліфіковані робітники закладу ресторанного господарства. Вироби оцінювалися за 5-бальною шкалою, відповідно до цієї шкали була дана оцінка м'ясним січеним кулінарним виробам за шістьма показниками, такими як: зовнішній вигляд, колір на розрізі, запах, аромат, смак, консистенція, соковитість. Відповідно до правил проведення органолептичної оцінки м'ясних січених виробів дегустаторами спочатку визначався зовнішній вигляд досліджуваних зразків: правильність форми виробів, стан поверхні, потім консистенція, соковитість, колір на розрізі, запах і смак. Оцінку в балах виставляли з урахуванням коефіцієнта вагомості показника (табл. 1).

Одиничні показники-дескриптори, за якими оцінювали якісні показники та смакові властивості розробленої продукції, дозволили побудувати профілаграми та зробити профільну оцінку виробів, порівнюючи з еталоном (рис. 1) для м'ясного хліба з курячого філе, для м'ясного хліба з індиного філе (рис. 2).

Профілі органолептичних показників м'ясного хліба з курячого філе показують, що II варіант, де шпинату додавали 15%, за показником консистенція і колір на розрізі поступається еталонному зразку. I варіант, де шпинату міститься 10%, поступається еталону і II зразку за запахом, ароматом і смаком, але має вищий показник за консистенцію, ніж модельний зразок другого варіанту.

Таблиця 1

Результати бальної оцінки м'ясних виробів різних модельних композицій

Досліджувані зразки	Бальна оцінка						Сумарна бальна оцінка
	Зовнішній вигляд	Консистенція	Соковитість	Колір на розрізі	Запах, аромат	Смак	
	Коефіцієнт вагомості показника якості						
	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	
chicken bread I варіант	5	5	5	5	4	4	4,5
chicken bread II варіант	5	4	5	4	5	5	4,7
turkey bread I варіант	5	5	5	5	5	4	4,7
turkey bread II варіант	5	4	5	5	5	5	4,8

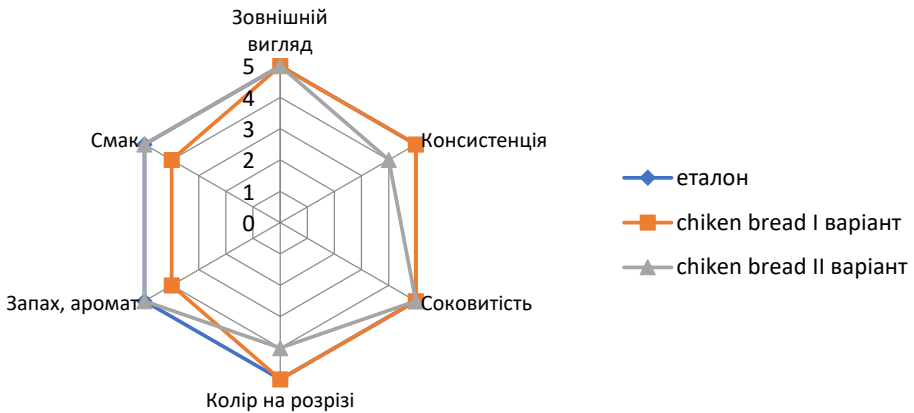


Рис. 1. Профільна оцінка м'ясного хліба з курячого філе

Порівнюючи профілі дослідних зразків м'ясного хліба з індичого філе, можна зробити висновок, що більш привабливим за органолептичними показниками є модельний зразок II варіанту, де кількість шпинату становить 15%. Він оцінений нижче еталону тільки за консистенцією, тоді як I варіант ще і за смаком.

Таким чином, за даними дегустаторів, додавання шпинату у кількості 15% як до курячого, так і індичого філе для виготовлення м'ясного хліба є найбільш оптимальним і дозволяє отримати смачну, корисну і привабливу продукцію, яка підійде як для індивідуальної подачі, так і для банкетного меню.

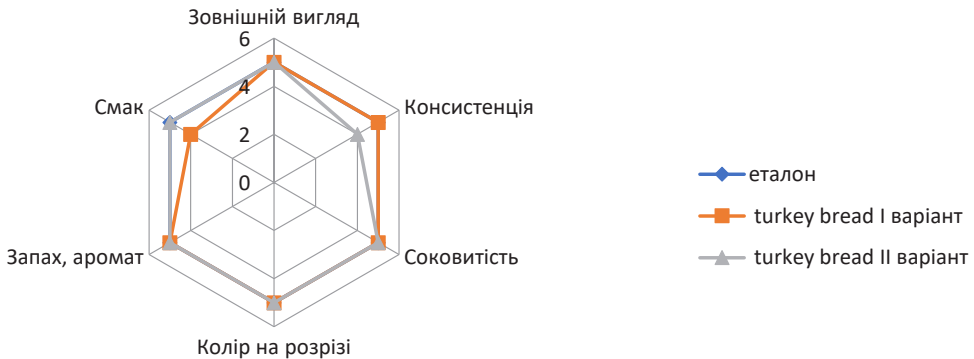


Рис. 2. Профільна оцінка м'ясного хліба з індичого філе

Кількість білків, жирів, вуглеводів визначає харчову цінність продукту. Отримані дані хімічного складу досліджуваних зразків свідчать, що зразки м'ясного хліба, в яких міститься 10% рослинної маси, містять більшу кількість білків на 4,6% (м'ясний хліб з курячого філе) та на 6% (м'ясний хліб з індичого філе), ніж у дослідних зразків із вмістом шпинату 15%. Але водночас вони містять більшу кількість жирів на 12,1 та 6,4% відповідно (рис. 3).

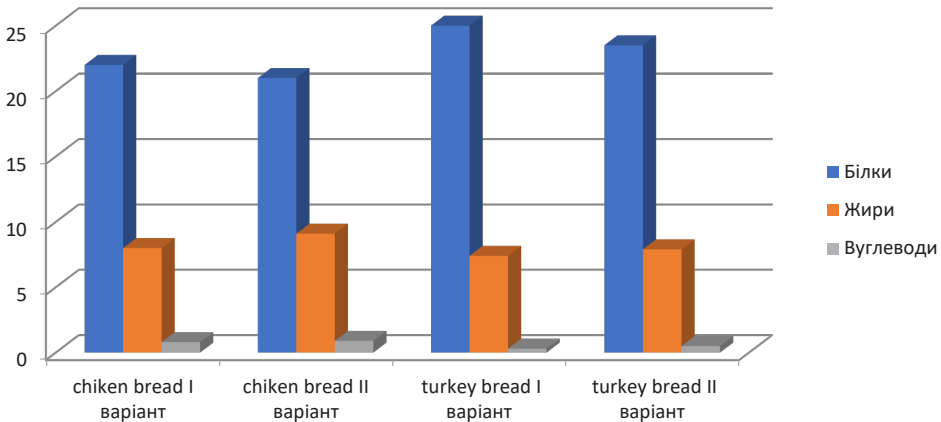


Рис. 3. Харчова цінність дослідних зразків м'ясного хліба з м'яса птиці і рослинними компонентами

Отримані зразки не відповідають класичному розумінню балансу БЖВ у співвідношенні 1:0, 8:4 (відповідно), але ж основною сировиною м'ясного хліба є дієтичне м'ясо птахів, тому баланс білки/жири витримано. До того ж мікронутрієнтний склад готової продукції вказує на досить значний вміст вітамінів групи В, РР, вітаміну К та мінеральних речовин, таких як калій, залізо, фосфор, селен, кобальт, цинк.

Функціонально-технологічні показники відображають якість м'ясної сировини, визначають його поведінку у переробці та зберіганні, забезпечуючи

технологічні і споживчі властивості готових продуктів. У процесі термічної обробки відбуваються фізико-хімічні та колоїдно-хімічні зміни, в результаті яких частини води і жиру, пов'язані у сирому фарші, відокремлюються у вигляді втрат маси. Кількість вологи і жиру, що залишилася у складі фаршу, характеризує його вологоутримуючу і жирутримуючу здатності.

Здатність м'ясних січених виробів зв'язувати й утримувати воду чинить істотний вплив на органолептичні властивості (консистенцію, соковитість), структуру, вихід і стійкість під час зберігання готових виробів. У разі подрібнення м'яса, вивільняючись з м'язових волокон, міофібрилярні білки актин і міозин переходять у розчинний стан і утворюють у рідкій фазі фаршу концентрований розчин, що володіє великою в'язкістю. Під час теплової обробки білки коагулюють і міцно пов'язують компоненти у структурі м'ясних січених виробів.

Дослідження показали, що більш високі показники масової долі зв'язаної вологи мали зразки з вищим вмістом шпинату. Для м'ясного хліба з курячого філе різниця становила 5,5%, з філе індика – 3,2%.

Отримані дані свідчать, що введення рослинної сировини у кількості 15% від загальної маси позитивно впливає на ВЗЗ, що своєю чергою позначається на пластичності фаршу (рис. 4).

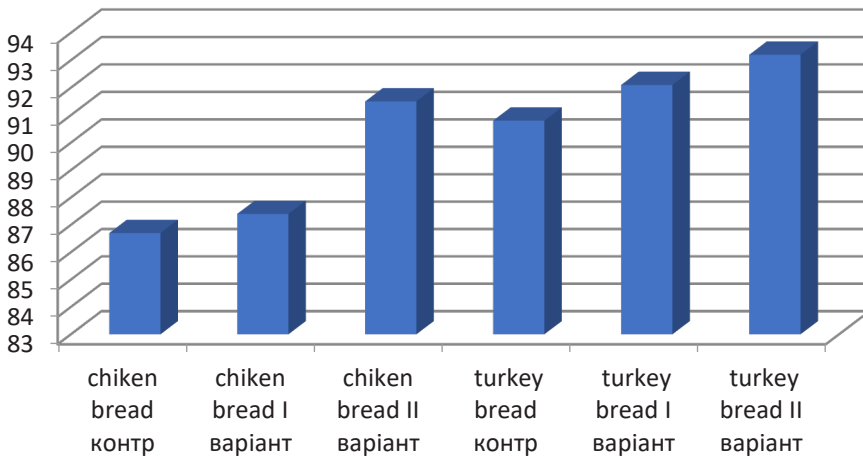


Рис. 4. Показники вологозв'язуючої здатності фаршевих систем

Отримані дані дозволяють припустити, що м'ясні січені вироби з більшим вмістом зелені шпинату будуть мати більш низькі втрати у процесі термообробки, меншою мірою піддаватися мікробіологічному псуванню під час зберігання і мати більшу соковитість.

На товарознавчі, технологічні властивості м'ясних січених виробів впливає вологоутримуюча здатність, що зумовлює їх консистенцію, соковитість, ніжність, м'якість, структурно-механічні властивості, вихід, показники економічної ефективності. Технологічним рішенням для збільшення вологоутримуючої здатності у м'ясних січених виробах з м'яса птиці є додавання рослинної сировини, припущеної на вершковому маслі. Знайдення оптимального співвідношення м'ясо/рослинна сировина дозволить на фоні підвищення ВУЗ не погіршувати біологічну і харчову цінність м'ясних виробів.

Проведені дослідження щодо визначення показника пластичності показують, що ніжність (пластичність) виробів збільшується з введенням у фаршеву систему зеленого шпинату, припущеного з вершковим маслом (рис. 5).

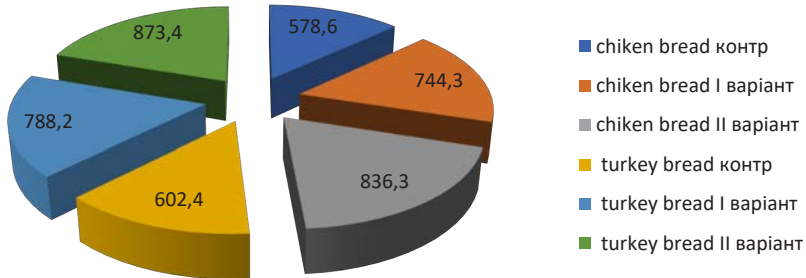


Рис. 5 Показники ніжності дослідних фаршевих систем, см²/г

Цей показник напряму залежить від кількості рослинної маси, і є більшим порівняно з контролем на 30,9% у разі введення 15% шпинату та на 22,3% у разі введення 10% шпинату у фарш з курячого філе. Для м'ясного хліба з філе індика різниця становить 31,1% та 23,6% відповідно.

Консистенція готових кулінарних м'ясних виробів з м'яса птиці є важливим показником, який зумовлює привабливість продукції, її зовнішній вигляд. Її вимірюють у разі занурення (під силою тяжіння) випробувального предмета стандартної маси і розміру у досліджувані зразки продукції протягом певного часу. Це так званий показник пенетрації. Нами досліджено пенетрацію дослідних зразків м'ясного хліба і контрольних аналогів (рис. 6).

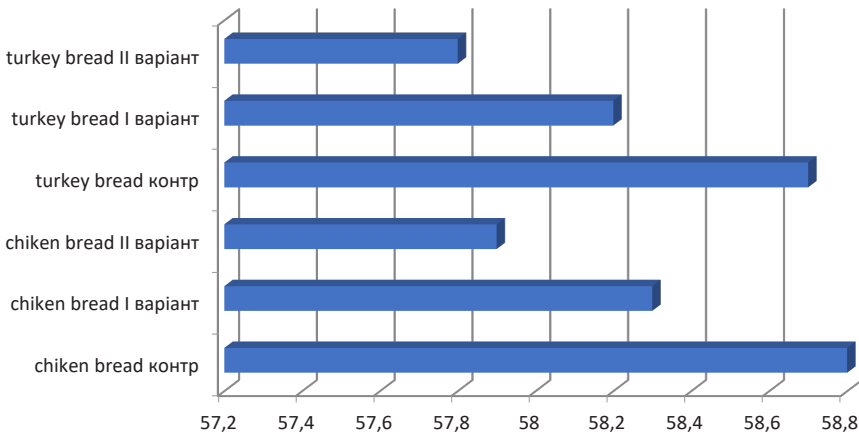


Рис. 6. Показник пенетрації дослідних зразків м'ясного хліба і контрольних аналогів

Аналізуючи отримані показники, можна стверджувати, що додавання рослинних компонентів – шпинату зеленого зменшує показник пенетрації, а це своєю чергою свідчить про більш ніжну консистенцію січеної м'ясної страви.

Показник активної кислотності (рН) істотно впливає на технологічні властивості фаршів і якість готових виробів, зокрема, на вологозв'язуючу здатність, вихід готового виробу, втрати маси, консистенцію, а також стійкість щодо розвитку

мікроорганізмів під час зберігання; визначає придатність м'ясної сировини до переробки і дозволяє прогнозувати розвиток і вид патогенної мікрофлори.

Визначали активну кислотність напівфабрикату та готової продукції відразу після приготування і під час зберігання протягом 24 і 48 годин за температури +4°C. Отримані дані відображені на діаграмі (рис. 7).

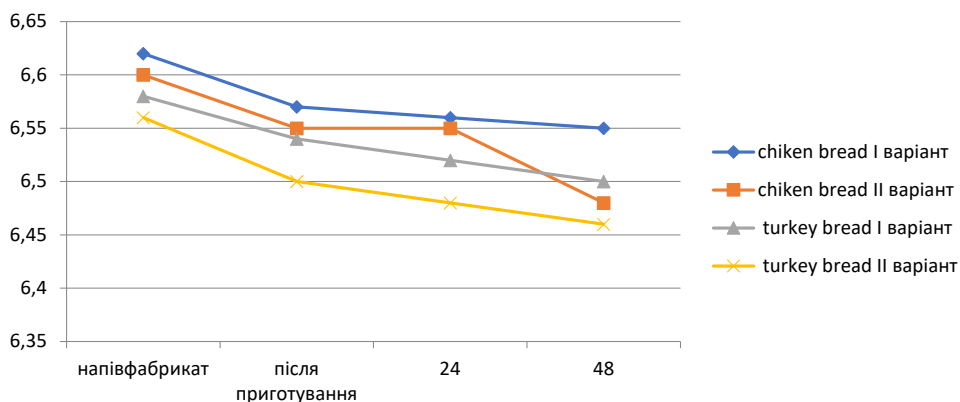


Рис. 7. Динаміка активної кислотності (pH) у напівфабрикатах і готовій продукції під час зберігання

Отримані дані показують, що після приготування м'ясних хлібів з м'яса птиці відбуваються незначні зміни активної кислотності у готових виробах, що вказує на добру якість сировини та стабільність мікробіологічних процесів під час зберігання протягом 48 годин.

Висновки і пропозиції. За даними експертизи, з огляду на показники органолептичної оцінки, результати фізико-хімічних і функціонально-технологічних досліджень можна стверджувати, що саме вироби з пташиного м'яса (як з курячого, так і індичого філе) і рослинної сировини II варіанту (15% шпинату і 2% гарбузового насіння) мають більш виражене дієтичне направлення (за вмістом мікроелементів), кращі за смаковими якостями, мають ніжну консистенцію і більшу пластичність, володіють більшою вологоутримуючою здатністю і втрачають менше маси під час термічної обробки.

Отже, з метою розширення асортименту страв для поціновувачів здорового харчування можна пропонувати закладам ресторанного господарства вводити у склад меню м'ясні січені страви дієтичного призначення з м'яса птахів з рослинною сировиною, а саме зеленню шпинату у кількості 15% і насіння гарбуза – 2%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Пересічний М., Федорова Д., Кандалей О. Функціональне харчування: теорія та практика. *Вісник КНТЕУ*, 2015. № 2, с. 96–104.
2. Пересічний М.І., Корзун В.Н., Кравченко М.Ф., Григоренко О.М. *Харчування людини і сучасне довкілля: теорія і практика*. Київ : КНТЕУ. 2003.
3. Кулінка Ю.С. Технологія м'ясних січених страв для студентського харчування. *Молодий вчений*, 2016. № 12, с. 46–50.
4. Стеценко Н., Мошенська Л. Використання нетрадиційної сировини при виробництві м'ясних продуктів для харчування військовослужбовців. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека* : матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції (12–13 травня 2016 р., м. Київ), с. 66–68.

5. Важенина А.А. Особенности домашних рационов выходного дня у дошкольников – воспитанников дошкольных образовательных организаций. *Тихоокеанский медицинский журнал*, 2016. Т. 65, № 3, с. 45–48.

6. Вековцев А.А. Натурные исследования эффективности биологически активной добавки с направленными функциональными свойствами. *Техника и технология пищевых производств*, 2015. Т. 37, № 2, с. 67–74.

7. Паска М.З. Маслійчук О.Б. Мінеральний склад м'ясних посічених напівфабрикатів з додаванням люпинового борошна та дивосилу. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*, 2016. № 18 /1 (65), 4, с. 102–107.

8. Літвінова І.О., Хлизова Н.І. Використання борошна із насіння амаранту в технології м'ясних січених напівфабрикатів. *Topical issues of the development of modern science : the 7th International scientific and practical conference (March 11–13, 2020, Sofia)*, 2020. 5 ВВК 91, с. 296–203.

9. Маслійчук О.Б., Паска М.З. М'ясні посічені напівфабрикати з використанням натурального білкового збагачувача. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (25–26 травня 2017 р., м. Київ). 2017. С. 30–32.

10. Нечепуренко К.Б., Пивоваров П.П. Технологічні аспекти утворення структурованих емульсій у складі м'ясних січених виробів. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*, 2014. № 2, (12 (68)).

REFERENCES:

1. Peresichnyi, M., Fedorova, D., Kandalei, O. (2015). Funktsionalne kharchuvannia: teoriia ta praktyka [Functional nutrition: theory and practice]. *Visnyk KNTEU – Bulletin of KNTEU*, No 2, 96–104 [in Ukrainian].

2. Peresichnyi, M.I., Korzun, V.N., Kravchenko, M.F., Hryhorenko, O.M. (2003). *Kharchuvannia liudyny i suchasne dokillia: teoriia i praktyka* [Human nutrition and the modern environment: theory and practice]. Kyiv: KNTEU [in Ukrainian].

3. Kulinka, Yu.S. (2016). Tekhnolohiia miasnykh sichenykh strav dlia studentskoho kharchuvannia [Technology of sliced meat dishes for student meals]. *Molodyi vchenyi – Young scientist*, No. 12, 46–50 [in Ukrainian].

4. Stetsenko, N., Moshenska, L. (2016). Vykorystannia netradytsiinoi syrovyny pry vyrobnytstvi miasnykh produktiv dlia kharchuvannia viiskovosluzhbovtiv [The use of non-traditional raw materials in the production of meat products for the military]. *Ozdorovchi kharchovi produkty ta diyetychni dobavky: tekhnolohiyi, yakist' ta bezpeka: materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (12–13 travnya 2016 r. m. Kyiv)* – Health foods and dietary supplements: technologies, quality and safety: materials of the International scientific-practical conference (May 12–13, 2016, Kyiv), 66–68 [in Ukrainian].

5. Vazhenyna, A.A. (2016). Osobennosti domashnykh ratsyonov vyikhodnoho dnia u doskolnykov – vospytanykov doskolnykh obrazovatelnykh orhanyzatsyi [Features of home weekend diets for preschoolers – pupils of preschool educational organizations]. *Tykhookeanskyi medytsynskyi zhurnal – Pacific Medical Journal*, T. 65, No. 3, 45–48 [in Russian].

6. Vekovtsev, A.A. (2015). Naturnye issledovaniya effektivnosti byolohychesky aktivnoi dobavky s napravlenyimi funktsyonalnyimi svoistvamy [Field studies of the effectiveness of biologically active additives with targeted functional properties]. *Tekhnika y tekhnolohiya pyshchevykh proyzvodstv – Technique and technology of food production*, T. 37, No 2, 67–74 [in Russian].

7. Paska, M.Z. Masliichuk, O.B. (2016). Mineralnyi sklad miasnykh posichenykh napivfabrykativ z dodavanniam liupynovoho boroshna ta dyvosylu [Mineral composition

of cut meat semi-finished products with the addition of lupine flour and wonder]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii imeni S.Z. Gzhytskoho – Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzycki*, 18 /1 (65), No. 4, 102–107 [in Ukrainian].

8. Litvinova, I.O., Khlyzova, N.I. (2020). Vykorystannya boroshna iz nasinnya amarantu v tekhnolohiyi m'yasnykh sichenykh napivfabrykativ [The use of amaranth seed flour in the technology of chopped meat products]. *Topical issues of the development of modern science: the 7th International scientific and practical conference (March 11–13, 2020, Sofia)*, 5 BBK 91, 296–203 [in Bulgarian].

9. Masliichuk, O.B. Paska, M.Z. (2017). Miasni posicheni napivfabrykaty z vykorystanniam naturalnoho bilkovoho zbahachuvacha [Meat cut semi-finished products using natural protein fortification]. *Ozdorovchi kharchovi produkty ta diyetychni dobavky: tekhnolohiyi, yakist' ta bezpeka: materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (25–26 travnya 2017 r., m. Kyiv)*, 30–32. [Health foods and dietary supplements: technologies, quality and safety: materials of the International scientific-practical conference (May 25–26, 2017, Kyiv)], 30–32 [in Ukrainian].

10. Nechepurenko, K.B., Pyvovarov, P.P. (2014). Tekhnolohichni aspekty utvorennia strukturovanykh emulsii u skladi miasnykh sichenykh vyrobiv [Technological aspects of the formation of structured emulsions in the composition of minced meat products]. *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovukh tekhnolohiyi – Eastern European Journal of Advanced Technology*, 2(12 (68)) [in Ukrainian].

УДК 547.455.6:547.458.2:663.9:664.165
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.15>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ЦУКРУ НА РЕАКЦІЮ МАЙЯРА В МОДЕЛЬНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ГІДРОЛІЗАТОМ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ

Синенко Т.П. – аспірантка, асистентка кафедри технології та безпеки харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-5300-5142

Фролова Н.Е. – доктор технічних наук,
професор кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0002-5009-6026

Соколенко В.В. – старший викладач кафедри технології та безпеки харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-2049-7013

Губа С.О. – старший викладач кафедри технології та безпеки харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-0546-7940

Харчова промисловість, зокрема індустрія харчових добавок, у виробництві та розробці натуральних ароматизаторів і смакоароматичних добавок вдало використовує властивості продуктів реакції Майяра генерувати присні, бажані смаки та аромати. Характер утворених смакоароматичних речовин визначають реакційні амінокислоти і цукри. Змінюючи тип цукру, який вступає в реакцію з амінокислотою, щоразу можна отримувати нові смакоароматичні речовини. Таким чином, дослідження кінетики реакції Майяра і визначення залежності сенсорної характеристики кінцевих продуктів від типу використаного цукру в реакції – актуальне питання. Мета роботи – дослідити вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків. У роботі використовувалися такі цукри: D-ксилози, D-глюкози, D-фруктози, лактози. Реакційна здатність цукрів оцінювалася за характерними кінетичними параметрами реакції Майяра: зміна вмісту вільних аміногруп і редуруючих цукрів у зразках, забарвлення (потемніння), смаку й аромату. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільше зменшення вільних аміногруп відбувається у зразку з додаванням ксилози, як і зменшення самого цукру у разі реакції. Найбільше потемніння протягом 45 хв. нагрівання спостерігається в усіх зразках, що є характерним для реакції Майяра (відбувається утворення меланоїдинів). Результати сенсорної оцінки показали, що з додаванням ксилози до гідролізату сироваткових білків і нагріванні протягом 25–35 хв. в ароматі і смаку переважали дескриптори, подібні м'ясному і «умамі»; глюкози – солодкі, карамельні і подібні шоколадному; фруктози – карамельні і фруктові; лактози – карамельні. Отримані результати дослідження можуть бути використані у розробці натуральних ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

Ключові слова: молочна сироватка, сироваткові білки, редуруючі цукри, реакція Майяра, смакоароматичні речовини.

Syenko T.P., Frolova N.E., Sokolenko V.V., Huba S.O. Investigation of the influence of the sugar types in the model systems with whey protein hydrolysate on Maillard reaction

The food industry, in particular the food additive industry, in the production and development of natural flavors and flavoring additives, successfully uses the properties of the products

of the Maillard reaction to generate pleasant, desirable flavors and aromas. The nature of the resulting flavors determine the reactions between amino acids and sugar. By changing the type of sugar that reacts with the amino acid, it is once possible to obtain new flavoring substances. Thus, the study of the kinetics of the Maillard reaction and determining the dependence of the sensory characteristics of the final products on the type of sugar used in the reaction is an important issue. The purpose of the work is to investigation of the influence of the sugar types in the model systems with whey protein hydrolysate on Maillard reaction. The following sugars were used: D-xylose, D-glucose, D-fructose, lactose. The reactivity of sugars was assessed by the characteristic kinetic parameters of the Maillard reaction: change in the content of free amino groups and reducing sugars in the samples and change in color (darkening) and change in taste and aroma. As a result of the conducted researches it is established that the greatest reduction of free amino groups occurs in the sample with the addition of xylose, as well as the reduction of the sugar itself in the reaction. The greatest darkening within 45 min of heating is observed in all samples, which is characteristic of the Maillard reaction (melanoidins are formed). The results of the sensory evaluation showed that with the addition of xylose to the hydrolyzate of whey proteins and heating for 25–35 minutes in the aroma and taste dominated by descriptors similar to meat and “umami”; glucose – sweet, caramel and chocolate-like; fructose – caramel and fruit; lactose – caramel. The obtained research results can be used in the development of natural flavors and flavorings.

Key words: whey, whey proteins, reduction sugars, Maillard reaction, flavoring substances.

Вступ. Сучасні харчові технології важко уявити без використання харчових добавок, які дозволяють поліпшити сенсорні характеристики продукції та біологічну цінність, збільшити терміни зберігання і одночасно зменшити собівартість продукції за рахунок заміни (або імітації) дороговартісної сировини.

Властивості продуктів реакції Майяра, які здатні генерувати приємні, бажані смаки й аромати, в окремих випадках і колір, індустрія харчових добавок вдало використовує для створення технологічних (реакційних) ароматизаторів і підсилювачів смаку [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реакція Майяра – це складна багатостадійна реакція, що у загальному має вигляд взаємодії карбонільної групи редуруючого (відновлювального) цукру з вільною аміногрупою білка або амінокислоти з утворенням проміжних та кінцевих продуктів реакції Майяра, які володіють ароматичними і смаковими характеристиками, а також мають властивість змінювати колір [2].

Технології ароматизаторів і смакоароматичних добавок, що ґрунтуються на реакції Майяра, є складними реакційними системами, які забезпечують аромат і смак, що характерний для термічно оброблених продуктів, таких як м'ясо, хліб, шоколад, кава, карамель, попкорн тощо.

Більшість наукових розробок описують отримання м'ясних ароматизаторів у модельних реакційних системах, таких як: цистеїн та/або тіамін і рибоза [3–5]. У разі взаємодії цистеїну, метіоніну і рибози отримано ароматизатор із запахом, подібним до вареної і смаженої яловичини [6].

У роботах [7; 8] здійснено поєднання амінокислот і редуруючих цукрів у разі термічної обробки і охарактеризовано утворенні смакоароматичні сполуки. Наприклад, карамельні аромати і смаки утворюються у разі поєднання проліну або серину з дисахаридом (мальтозою або лактозою); аромат попкорну – у разі взаємодії проліну з глюкозою або фруктозою; шоколадні – утворює лейцин або треонін з глюкозою; фруктові нотки отримуються у азі поєднання фенілаланіну з глюкозою або фруктозою.

У роботі [9] встановлено, що у разі поєднання цистеїну і глюкози утворюються аромати, які описуються як «бісквітні» та «горіхові», у разі зміни цукру на ксилозу утворюються характерні «м'ясні» аромати і смаки. Автори іншої роботи [10]

стверджують, що тип цукру має незначний вплив на сенсорні характеристики. Розбіжність окремих результатів досліджень підкреслює складність моделювання реакції Майяра з метою отримання необхідного аромату і смаку.

Більшість проаналізованих технологій смакоароматичних добавок показують взаємодію однієї чи двох амінокислот з цукром («модельні системи») [3–11]. І навпаки, науковим досягненням стало використання білкових гідролізатів сировини рослинного, тваринного чи мікробного походження як системи вільних амінокислот і пептидів.

У роботі [12] досліджено виробництво смакоароматичної добавки на основі гідролізату лляного білка із «м'ясним» ароматом і смаком.

У роботі [13] розроблено технологію ароматизатору на основі горохового білка та гуміарабіку із характеристиками аромату, подібними до смаженого м'яса.

Перспективним є використання вторинної сировини харчової промисловості в отриманні смакоароматичних речовин. Меляса, шкірка ягід, фруктів та овочів, шкаралупа, відходи морепродуктів та м'яса, відпрацьовані зерна кави та какао-бобів містять значний резерв попередників смаку та аромату [14].

Вченими [15] досліджено отримання смакоароматичної добавки на основі білкового шроту насіння півонії (вторсировина у виробництві олії із насіння півонії). В результаті отримано добавку із «м'ясними», «умами», «карамельними» і «солоними» характеристиками смаку й аромату.

Утилізація харчових відходів для більшості виробників є проблемою, тому переробка вторсировини з метою отримання смакоароматичних сполук без суттєвих затрат набуває актуальності. У цьому випадку цінним продуктом є молочна сироватка, а саме її білкові компоненти.

Згідно з інформаційними джерелами [16], нативна молочна сироватка містить від 0,6 до 1,2% білків. Сироваткові білки є повноцінними, багаті дефіцитними незамінними амінокислотами, зокрема високим вмістом лізину, триптофану, метіоніну, треоніну. Зважаючи на те, що вміст сухих речовин у різних видах молочної сироватки становить не більше 6,5–6,6%, то переробка сироватки насамперед вимагає згущення або концентрування її компонентів. Сироваткові білки з різним вмістом білка 30–95% використовуються в харчовій промисловості у вигляді концентратів [17].

Постановка проблеми. Складність реакції Майяра полягає в одночасному впливі таких параметрів технології, як температура, рН, тривалість і активність води [18; 19]. Характер утворених смакоароматичних речовин визначають реакційні амінокислоти і цукри. Відомо, що в реакції Майяра реакційноздатні лише редуруючі цукри, і альдози більш активні з амінокислотами, ніж кетози [20]. Змінюючи тип цукру, який вступає в реакцію з амінокислотою, щоразу можна отримувати нові смакоароматичні речовини. Таким чином, дослідження кінетики реакції Майяра і визначення залежності сенсорної характеристики кінцевих продуктів від типу використаного цукру в реакції – актуальне питання.

Мета роботи – дослідити вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженнях використовувалися концентрат сироваткових білків (КСБ-80), отриманий ультрафільтрацією з масовою часткою білка 80%, придбаний у ТОВ «Техмолпром» (Україна), ферментний препарат протолад – бактеріальна лужна протеаза, що отримана із селекційних штамів *Bacillus subtilis*, виробництва ДП «Ензим» (Україна). Цукри: D-ксилоза, D-глюкоза, D-фруктоза, лактоза придбані у ТОВ «Хімпромресурси-ЛД» (Україна).

Отримання гідролізату сироваткових білків. Гідролізат сироваткових білків отримували згідно з розробленою нами технологією [21; 22]. 20 г концентрату сироваткових білків і 4 г ферментного препарату протолад (співвідношення субстрат:фермент як 4,5:1) змішували в дистильованій воді, рН доводили до $7,7 \pm 0,1$ за допомогою 2Н NaOH. Суміш поміщали в термостатну водяну баню, обладнану системою безперервного перемішування. Ферментний гідроліз проводили протягом 75 хв. за температури $57 \pm 2^\circ\text{C}$. Відтак процес гідролізу зупиняли нагріванням зразка до температури 95°C протягом 5–7 хв. і охолоджували в крижаній бані до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Отриманий гідролізат фільтрували, отриманий супернатант за необхідності зберігали в холодильній камері.

Отримання продуктів реакції Майяра. У склянці об'ємом 100 см^3 змішували 50 см^3 гідролізату сироваткових білків (вміст вільних аміногруп $47,35\text{ мг}$) і $0,2\text{ г}$ одного із чотирьох цукрів (D-ксилоза, D-глюкоза, D-фруктоза, лактоза). Доводили рН до $7,4 \pm 0,01$ за допомогою 2Н NaOH. Суміш нагрівали в термостатній масляній ванні з магнітним перемішуванням за температури $120 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 15–45 хв. Відтак зразки негайно охолоджували в крижаній ванні до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ і за необхідності зберігали в холодильній камері. У випадку сенсорної оцінки зразки охолоджували до температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і проводили аналіз.

Як контрольний зразок використовували гідролізат сироваткових білків без додавання цукру термічно обробленого за температури $120 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 15–45 хв.

У досліджуваних зразках визначали вміст редуруючих цукрів за методом Бертрана, зміну забарвлення (потемніння) – оптичну щільність спектрофотометричним методом у разі довжини променя 420 нм (A_{420}), вміст вільних аміногруп (амінокислот) методом формольного титрування, сенсорний аналіз проводили описовим (deskriptivним) методом.

Виклад основного матеріалу. Згідно з даними [2; 18; 20], початкова стадія реакції Майяра починається з конденсації карбонільної групи відновного цукру з вільною аміногрупою білка або амінокислоти. При цьому утворюються нестабільні речовини (альдегідамін, основи Шиффа, глюкозиламін (або фруктозималін)), далі відбувається утворення стійких сполук Амадорі (або Хейнса). Речовини, які утворені на початковій стадії, не володіють зовнішніми проявами: без зміни кольору, смаку і запаху. При цьому відбувається значне зменшення кількості вільних амінокислот. Під час другої (проміжної стадії) відбувається зневоднення і фрагментація цукрів, деградація Штрекера (розпад амінокислот). У результаті зазначених реакцій утворюються речовини, легкі ароматичні сполуки (альдегіди, піразини, піридини), які володіють смаковими і ароматичними характеристиками. Також утворені проміжні продукти реакції Майяра дають перші ознаки зміни кольору. Під час заключної стадії реакції відбувається конденсація проміжних продуктів реакції з утворенням меланоїдинів, які формують потемніння сумішей (від темно-коричневого до чорного). Водночас відбувається зміна смакових і ароматичних характеристик попередньо утворених (проміжних) речовин, вони стають інтенсивнішими або змінюються в гірший бік – з'являються неприємні смаки і аромати, такі як горілі, гіркі, затхлі тощо.

У роботі вплив типу цукрів на реакцію і його реакційну здатність оцінювали за характерними кінетичними параметрами реакції Майяра: зміна забарвлення (потемніння), смаку і аромату, зниження концентрації вільних аміногруп і редуруючих цукрів. Зазначені параметри фіксувалися через 5, 15, 25, 35 і 45 хв. нагрівання в таких зразках: гідролізат сироваткових білків без додавання цукру (контрольний зразок – ГСБ) і з внесенням D-ксилози (ГСБ+ксилоза), D-глюкози (ГСБ+глюкоза), D-фруктози (ГСБ+фруктоза), лактози (ГСБ+лактоза).

Результати дослідження вмісту вільних аміногруп у зразках протягом 45 хв. нагрівання представлено на рис. 1.

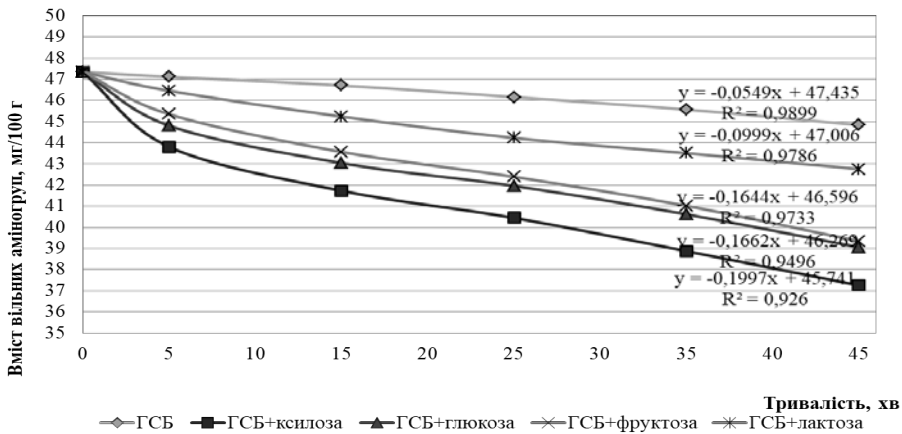


Рис. 1. Залежність вмісту вільних аміногруп у зразках від тривалості нагрівання

Представлені результати (рис. 1) показують, що вміст вільних амінокислот зменшується в усіх зразках протягом 45 хв. нагрівання суміші.

У випадку кип'ятіння гідролізату сироваткових білків без цукру (контрольний зразок – ГСБ) відбувається незначне зменшення концентрації вільних аміногруп, на 5,3% від вхідного значення. Результати інших зразків показали, що додавання цукру до суміші призводить до постійного зменшення вмісту вільних аміногруп. Так, у разі внесення цукру ксилози (зразок ГСБ+ксилоза) після 45 хв. нагрівання концентрація аміногруп зменшується на 21,3%, глюкози (зразок ГСБ+глюкоза) – на 17,5%, фруктози (ГСБ+фруктоза) – на 16,9%, лактози (ГСБ+лактоза) – на 9,7%.

Згідно з отриманими нами результатами, реакційна здатність цукрів у реакції Майяра щодо зменшення вільних аміногруп збільшується в наступному порядку: лактоза < фруктоза < глюкоза < ксилоза. Отримані нами результати підтверджуються роботами [20; 24], в яких показано, що додавання ксилози і глюкози до модельних систем призводить до найбільшого зменшення амінокислот.

Згідно з кінетикою реакції Майяра, зміна вмісту амінокислот (аміногруп) і редукуючих цукрів має пропорційний характер, оскільки вони є основними об'єктами реакції і реагують між собою упродовж реакції. Результати дослідження зміни вмісту цукрів у зразках відображено на рис. 2.

Згідно з отриманими даними (рис. 2), значне зменшення цукру протягом досліджуваного часу реакції спостерігалось в зразку ГСБ+ксилоза, ГСБ+фруктоза і ГСБ+глюкоза на 65,62%, 53,13% і 46,88% відповідно. І незначне зниження цукру спостерігалось в зразку ГСБ+лактоза на 37,5%.

Отримані результати (рис. 1–2) підтверджують, що концентрація вільних амінокислот (аміногруп) і редукуючих цукрів зменшується одночасно. Це доведено за допомогою аналітично-математичного методу, здійснено розрахунки коефіцієнтів кореляції (R_2) у разі визначення вмісту аміногруп і редукуючих цукрів для кожного зразка (рис. 1–2). Відповідно до отриманих даних R_2 для ГСБ+ксилоза має значення 0,926 і 0,905, для ГСБ+глюкоза – 0,949 і 0,922, для ГСБ+фруктоза – 0,973 і 0,926, для ГСБ+лактоза – 0,979 і 0,993.

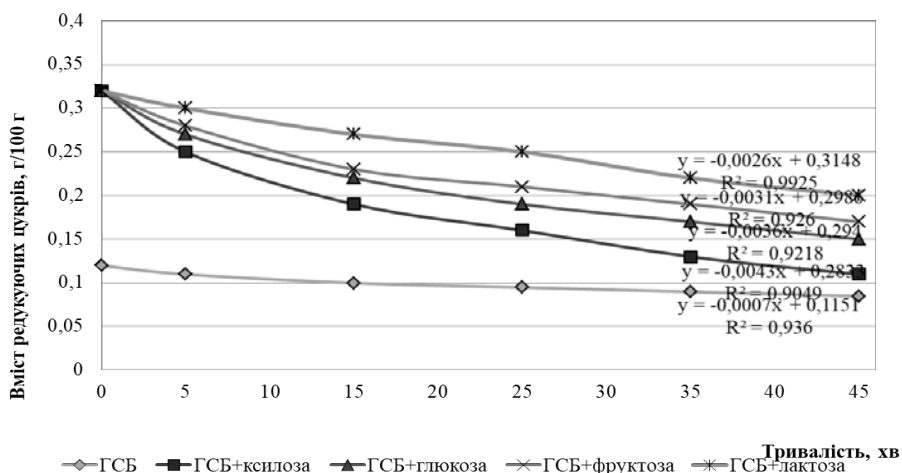


Рис. 2. Залежність вмісту цукрів у зразках від тривалості нагрівання

Дослідження органолептичних показників суміші дозволяє у загальному вигляді визначити, на якій стадії знаходиться реакція Майяра. Оскільки найбільше потемніння відбувається на кінцевій стадії, тоді як на початковій не відбувається зміни забарвлення, а в проміжній стадії – потемніння незначне, натомість з'являється аромат і смак.

Отримані результати оптичної щільності зразків у разі 420 нм представлено на рис. 3.

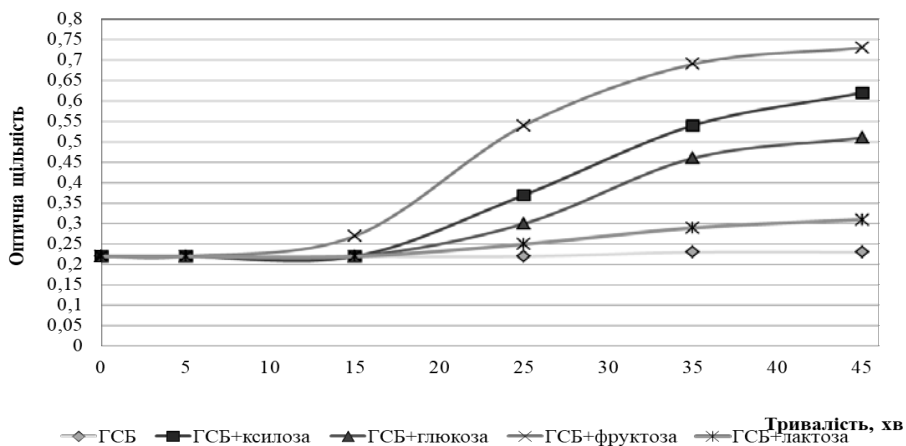


Рис. 3. Зміна інтенсивності забарвлення в зразках від тривалості нагрівання (при A_{420})

Отримані результати (рис. 1) показують, що в контрольному зразку (ГСБ) протягом 45 хв. нагрівання потемніння було мінімальне. Незначне потемніння через 25 хв. призвело до внесення до суміші лактози (зразок ГСБ+лактоза),

а також глюкози (зразок ГСБ+глюкоза). Під час наступного нагрівання потемніння поступово посилювалося. У випадку внесення ксилози (зразок ГСБ+к-силоза) помітне потемніння виникало через 35 хв. Найбільш візуально темне забарвлення через 25 хв. спостерігалось у разі використання фруктози порівняно з іншими цукрами. Згідно з інформаційними джерелами [18], більш висока інтенсивність забарвлення є показником кінцевої стадії реакції Майяра.

У дослідних умовах встановлено, що реакційна здатність цукрів до зміни забарвлення збільшується в такому порядку: лактоза < фруктоза < глюкоза < ксилоза. Отримані результати узгоджуються з результатами роботи [23], згідно з якими альдози більш реакційноздатні, ніж кетози, а пентози, ніж гексози.

Згідно з інформаційними джерелами [11; 25], тип цукру впливає на ароматичні і смакові характеристики кінцевих продуктів реакції Майяра. Результати сенсорного аналізу зразків представлено у вигляді профілограм (рис. 4 а–г).

Результати сенсорної оцінки (рис. 4) показали значні відмінності в ароматичних і смакових дескрипторах, які залежать від типу цукру і тривалості нагрівання.

В усіх зразках протягом 15 хв. у смаку і ароматі були характерними для гідролізату сироваткових білків: сироватковий аромат, солонуватий на смак з присмаком гіркоти і «умами» (смак білкових речовин, характерний для глутамінової кислоти або глутамату).

Під час нагрівання протягом 25 хв. у зразку ГСБ+к-силоза (рис. 4 в) смак і аромат був подібний до м'ясного і «умами». У зразках ГСБ+лактоза, ГСБ+глюкоза і ГСБ+фруктоза переважали подібний до карамельного запах і солодкий смак. Відзначено, що у зразку ГСБ+глюкоза присутні дескриптори, подібні до шоколадного, а в зразку ГСБ+фруктоза – подібні до фруктових ароматів. У разі проведення нагрівання понад 35 хв. (рис. 4 г–г) у зразках, окрім ГСБ+лактоза, виникає горілий аромат і гіркота у смаку.

Отримані результати підтверджуються даними [25], згідно з якими сенсорні характеристики продуктів реакції Майяра залежать від типу цукру.

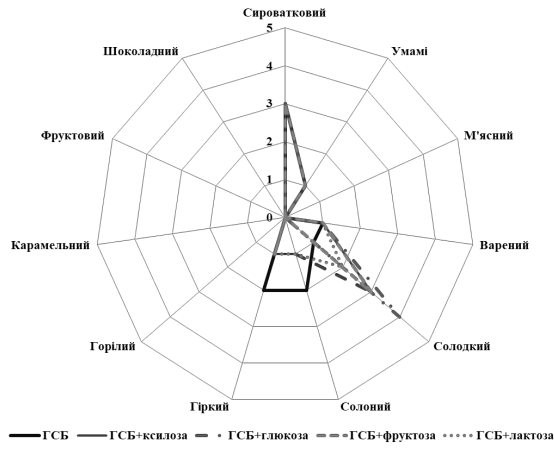
Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків.

Визначено, що найбільше зменшення вільних аміногруп відбувається у зразку з додаванням ксилози, як і зменшення самого цукру під час реакції. Найбільше потемніння протягом 45 хв. нагрівання спостерігається в зразку із внесенням фруктози.

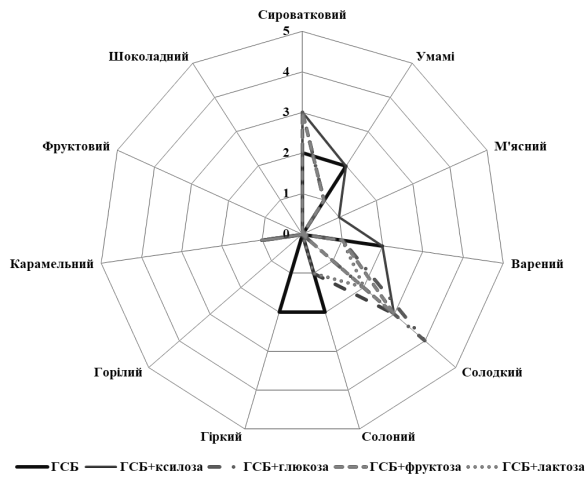
Встановлено, що найбільш помітне потемніння протягом 25 хв. виникає в зразку із додаванням фруктози. Однак внесення всіх досліджуваних цукрів протягом 45 хв. призводить до зміни забарвлення, що є характерним для реакції Майяра (відбувається утворення меланоїдинів).

Результати сенсорної оцінки показали, що з додаванням ксилози до гідролізату сироваткових білків і нагрівання протягом 25–35 хв. в ароматі і смаку переважали дескриптори, подібні до м'ясного і «умами»; глюкози – солодкі, карамельні і подібні до шоколадного; фруктози – карамельні і фруктові; лактози – карамельні.

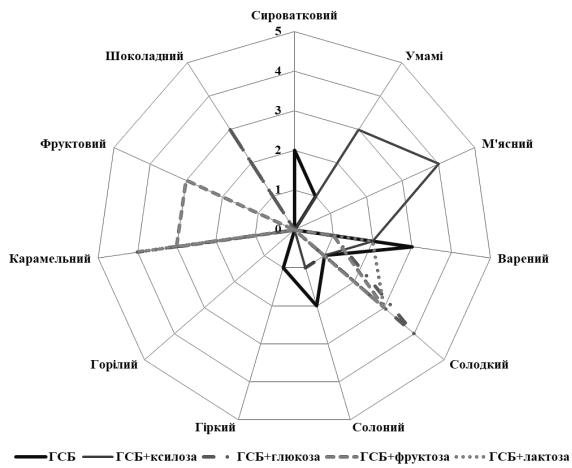
Отримані результати дослідження можуть бути використані у розробці натуральних ароматизаторів та смакоароматичних добавок.



а)



б)



в)

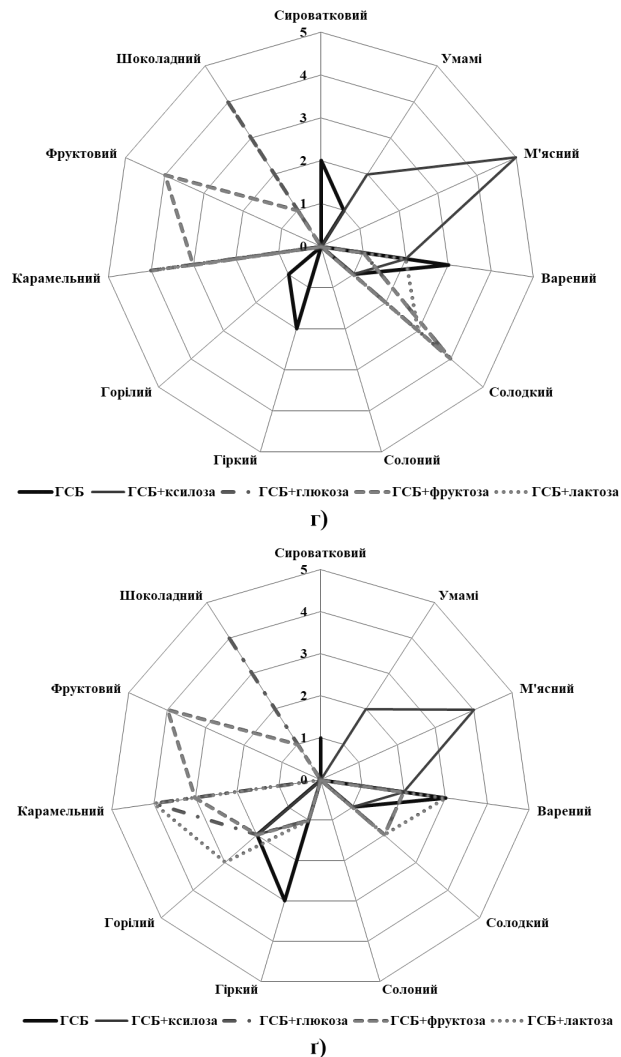


Рис. 4. Вплив типу цукру на аромат і смак продуктів реакції Майяра залежно від тривалості нагрівання: а) 5 хв.; б) 15 хв.; в) 25 хв.; г) 35 хв.; р) 45 хв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Yeretzian C., Blank I. Palzer S. Process flavourings. In: Flavourings. Production, composition, applications, regulations. Weinheim, Germany : Wiley-VCH, 2007. Pp. 549–572.
2. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования. *Современная наука и инновации*. 2014. № 4 (8). С. 22–32.
3. Meat flavor compositions : patent 3519437 US : A23 1/22. No. 614,036 ; application filed 06.02.1967, publication 07.07.1970.
4. Cerny C., Brifod M. Effect of pH on the Maillard reaction of xylose, cysteine, and thiamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007. No. 55(4). P. 1552–1556. DOI: 10.1021/jf062874w.

5. Flavouring substances and their preparation : patent 836694 GB : A23 L27/215. application filed 07.04.1955, publication 09.06.1960.
 6. Process for the manufacture of meat flavors : patent 3761287 US : A23 L27/215. application filed 23.12.1970, publication 25.09.1973.
 7. van Boekel MA. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*. 2006. No. 24(2). P. 230–233. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.004
 8. Kerler J., Winkel C., Davidek T. Basic chemistry and process conditions for reaction flavours with particular focus on Maillard-type reactions. In *Food flavour technology / eds. A.J. Taylor, R.S.T. Linforth*. 2010. P. 51–58. DOI: 10.1002/9781444317770.ch3.
 9. Ames J.M., Guy R.C.E., Kipping G.J. Effect of pH and temperature on the formation of volatile compounds in cystein/reducing sugar/starch mixtures during extrusion cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. No. 49/4. P. 1885–1894. DOI: 10.1021/jf0012547.
 10. Aroma characteristics of extruded wheat flour and wheat starch containing added cystein and reducing sugar / Bredie W.L.P. et al. *Journal of Cereal Science*. 1996. No. 25. P. 57–63. DOI: 10.1006/jcsc.1996.0074/pdf.
 11. Mottram D.S. The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods. In: *Flavours and fragrances / eds. Berger R.G. Berlin, Heidelberg : Springer*, 2007. P. 269–284. DOI: 10.1007/978-3-540-49339-6_12.
 12. Enzymatic hydrolysis of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein and sensory characterization of Maillard reaction products / Wei C.K. et al. *Food Chemistry*. 2018, 263, 186–193. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.04.120.
 13. Zha F., Yang Z., Rao J., Chen B. Gum arabic-mediated synthesis of glycopea protein hydrolysate via Maillard reaction improves solubility, flavor profile, and functionality of plant protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. No. 67(36). P. 10195–10206. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b04099.
 14. De Oliveira Felipi L., de Oliveira A.M., Lemos Bicas J. Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. No. 26. P. 141–153. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.02.005.
 15. Shang Y.-F., Cao H., Wei C.-K. Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal Food Process Preserv.* 2020. 44:e14341. DOI: 10.1111/jfpp.14341.
 16. Cheese whey processing: integrated biorefinery concepts and emerging food applications / I.K. Lappa et al. *Foods*. 2019. No. 8. P. 347. DOI: 10.3390/foods8080347.
 17. Храпцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. Санкт-Петербург : Профессия, 2011. 804 с.
 18. van Boekel M.A.J.S. Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Nahrung*, 2001. No. 45. P. 150–159. DOI: 10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9.
 19. Simplified kinetic scheme of flavour formation by the Maillard reaction / Jousse F. et al. *Journal of Food Science*. 2006. No. 67. P. 2534–2542. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772.x.
 20. Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity / Laroque D. et al. *Food Chemistry*. 2008. No. 111(4). P. 1032–1042. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.05.033.
 21. Синенко Т.П., Фролова Н.Е. Ферментативний гідроліз сироваткових білків молока. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. № 1 (105). С. 79–86. DOI: 10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10.
 22. Синенко Т.П., Фролова Н.Е. Моделювання та оптимізація процесу ферментативного гідролізу сироваткових білків. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2021. № 25. С. 111–119. DOI: 10.36477/2522-1221-2021-25-15.
-

23. Martins S.I.F.S., Jongen W.M.F., van Boekel M.A.J.S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*. 2000. No. 11. P. 364–373. DOI: 10.1016/S0924-2244(01)00022-X.

24. Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах / Почичкая И.М. и др. *Вопросы питания*. 2018. № 5. С. 95–101. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10058.

25. Wong K.H., Abdul Aziz S., Mohamed S. Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*. 2008. No. 43. P. 1512–1519. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01445.x.

REFERENCES:

1. Yeretzyan, C., Blank, I., & Palzer, S. (2007). Process flavourings. *Flavourings. Production, composition, applications, regulations*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

2. Khachatryan, E.Ye., Gvasaliya, T.S., & Yakimenko, T.P. (2014). Dvesti sostavlyayushchikh reaktiv melanoidinobrazovaniya [Two hundred components of the melanoidin formation reaction]. *Sovremennaya nauka i innovatsii – Modern science and innovation*, 4 (8), 22–32 [in Russian].

3. Giacino, C. (1970). Meat flavor compositions. Patent US 3519437. Retrieved January 25, 2022 from: <https://patents.google.com/patent/US3519437A/en?q=US3519437>.

4. Cerny, C., & Brifod, M. (2007). Effect of pH on the Maillard reaction of xylose, cysteine, and thiamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4), 1552–1556. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf062874w>.

5. National Center for Biotechnology Information (2022). Flavouring substances and their preparation. Patent GB-836694-A. Retrieved January 25, 2022 from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/GB-836694-A>.

6. Tsukagoshi, T., Kosuda, M., & Shingai H. (1973). Process for the manufacture of meat flavors. Patent US 3761287. Retrieved January 25, 2022 from: <https://patents.google.com/patent/US5981014A>.

7. van Boekel, MA. (2006). Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*, 24(2), 230–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.004>.

8. Kerler, J., Winkel, C., & Davidek, T. (2010). Basic chemistry and process conditions for reaction flavours with particular focus on Maillard-type reactions. *Food flavour technology* (eds. A.J. Taylor, & R.S.T. Linforth). Blackwell Publishing Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444317770.ch3>.

9. Ames, J.M., Guy, R.C.E., & Kipping, G.J. (2001). Effect of pH and temperature on the formation of volatile compounds in cystein/reducing sugar/starch mixtures during extrusion cooking, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49/4, 1885–1894. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0012547>.

10. Bredie, W.L.P., Hassell, G.M., Guy, R.C.E., & Mottram, D.S. (1997). Aroma characteristics of extruded wheat flour and wheat starch containing added cysteine and reducing sugars. *Journal of Cereal Science*, 25, 57–63. Retrieved from: <http://www.idealibrary.com/links/doi/10.1006/jcrs.1996.0074/pdf>.

11. Mottram, D.S. (2007). The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods. *Flavours and Fragrances*. Springer, Berlin, Heidelberg (eds Berger R.G.). Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-49339-6_12.

12. Wei, C.K., Thakur, K., Liu, D.H., Zhang, J.G., & Wei, Z.J. (2018). Enzymatic hydrolysis of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein and sensory characterization of Maillard reaction products. *Food chemistry*, 263, 186–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.120>.

13. Zha, F., Yang, Z., Rao, J., & Chen, B. (2019). Gum arabic-mediated synthesis of glyco-pea protein hydrolysate via Maillard reaction improves solubility, flavor profile,

and functionality of plant protein. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(36), 10195–10206. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04099>.

14. De Oliveira Felipi, L., de Oliveira, A.M., & Lemos Bicas, J. (2017). Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 141–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.005>.

15. Shang, Y.-F., Cao, H., & Wei, C.-K. (2020). Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal Food Process Preserv*, 44:e14341. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14341>.

16. Lappa, I.K., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., Koulougliotis, D., Eriotou, E., & Kopsahelis, N. (2019). Cheese whey processing: integrated biorefinery concepts and emerging food applications. *Foods*, 8, 347. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8080347>.

17. Khrantsov A.G. (2011). *Fenomen molochnoy syvorotki [The phenomenon of whey]*. St. Petersburg: Profession [in Russian].

18. van Boekel, M.A.J.S. (2001). Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Nahrung*, 45, 150–159. DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010601\)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9).

19. Jousse, F., Jongen, T., Agterof, W., Russell, S., & Braat, P. (2002). Simplified Kinetic Scheme of Flavor Formation by the Maillard Reaction. *Journal of Food Science*, 67, 2534–2542. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772.x>.

20. Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Vouland, É., Dufossé, L., & Guérarda, F. (2008). Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. *Food Chemistry*, 111(4), 1032–1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.033>.

21. Synenko, T.P., & Frolova, N.E. (2020). Fermentatyvnyy hidroliz syrovatkovykh bilkiv moloka [Enzymatic hydrolysis of whey proteins of milk]. *Visnyk ahrarnoyi nauky Prychornomor'ya – Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 1 (105), 79–86. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1\(105\)-10](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10) [in Ukrainian].

22. Synenko, T.P., & Frolova, N.E. (2021). Modelyuvannya ta optymizatsiya protsesu fermentyvnogo hidrolizu syrovatkovykh bilkiv [Modeling and optimization of the process of enzymatic hydrolysis of whey proteins]. *Visnyk L'vivs'koho torhovel'no-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 25, 111–119. DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-15> [in Ukrainian].

23. Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., & van Boekel, M.A.J.S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 364–373. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X).

24. Pochitskaya, I.M., Roslyakov, Yu.F., Litvyak, V.V., Komarova, N.V., & Yudenko, A.N. (2018). Issledovaniye vliyaniya reaktsii melanoidinobrazovaniya na sodержaniye aminokislot v model'nykh pishchevykh sistemakh [Investigation of the influence of the melanoidin formation reaction on the content of amino acids in model food systems]. *Voprosy pitaniia – Problems of Nutrition*, 87 (5), 95–101. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10058> [in Russian].

25. Wong, K.H., Abdul Aziz, S. & Mohamed, S. (2008). Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 1512–1519. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01445.x>.

УДК 637.33.37

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.16>

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБІГУ ЛІПОЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БРИНЗИ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ВМІСТОМ КУХОННОЇ СОЛІ

Скульська І.В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри технології молока і молочних продуктів
Львівського національного університету ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького
ORCID ID: 0000-0003-4037-0279

Цісарик О.Й. – доктор сільськогосподарських наук,
завідувач кафедри технології молока і молочних продуктів
Львівського національного університету ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького
ORCID ID: 0000-0002-0286-7463

Сливека Н.Б. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології молока і молочних продуктів
Львівського національного університету ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького
ORCID ID: 0000-0002-1792-2082

Бринза – розсільний сир, який традиційно виготовляють у гірських районах Івано-Франківської, Львівської, Закарпатської та Чернівецької областей. Згідно з традиційною технологією виготовлення, бринза повинна містити від 4 до 7% кухонної солі. Для того щоб цей вид сиру могли споживати абсолютно всі групи населення, в тому числі діти і люди похилого віку, ми удосконалили технологію виготовлення цього смачного продукту шляхом зниження вмісту солі і частковою заміною кухонної солі хлоридом калію.

У статті представлено результати досліджень бринзи з овечого, коров'ячого молока та їх суміші у співвідношенні 1:1, яка виготовлена з частковою заміною кухонної солі хлоридом калію. Виготовлено по 3 зразки кожного виду сиру, у яких: К – контрольний зразок із використанням хлориду натрію; Д1 – бринза, що виготовлена з 20% заміною хлориду натрію хлоридом калію; Д2 – бринза, що виготовлена з 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію. Вищий відсоток заміни кухонної солі є неможливим через виникнення неприсмного йодистого присмаку, який псує якість бринзи і не відповідає вимогам чинної нормативної документації за органолептичними показниками.

Досліджено перебіг ліполітичних процесів у бринзі з овечого, коров'ячого молока та їх суміші у співвідношенні 1:1 з частковою заміною кухонної солі хлоридом калію. Встановлено, що часткова заміна кухонної солі позитивно впливає на відщеплення окремих вільних жирних кислот. Зареєстровано також міжгрупові відмінності у перебігу ліполітичних процесів у різних видах бринзи: можна відзначити тенденцію до більшого вмісту ненасичених жирних кислот у зразках з 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію. Щодо складу вільних жирних кислот та суми насичених і ненасичених вільних жирних кислот істотних міжгрупових відмінностей не зареєстровано.

Порівнявши результати досліджень зразків бринзи з овечого та коров'ячого молока із бринзою з комбінованого молока, виявлено, що сума вільних насичених жирних кислот є найнижчою у зразках бринзи з комбінованого молока. Що стосується суми ненасичених жирних кислот, то найвищий їх рівень був у бринзі з комбінованого молока, а найнижчий – у бринзі з овечого та коров'ячого молока.

Ключові слова: бринза, розсільний сир, хлорид натрію, хлорид калію, ліполіз, жирні кислоти.

Skulska I.V., Tsisaryk O.Y., Slyvka N.B. Peculiarities of lipolitical processes in cheese with reduced salt content

Brynza is a pickled cheese that is traditionally made in the mountainous regions of Ivano-Frankivsk, Lviv, Zakarpattia and Chernivtsi regions. According to traditional technology, cheese should contain from 4 to 7% salt. In order for this type of cheese to be consumed by absolutely all groups of the population, including children and the elderly, we have improved the technology of making this delicious product by reducing the salt content and partially replacing salt with potassium chloride.

The article presents the results of research of sheep's cheese, cow's milk and their mixture in a ratio of 1:1, which is made with partial replacement of salt with potassium chloride. Made 3 samples of each type of cheese, in which: K – control sample using sodium chloride; D1 – cheese, made with 20% replacement of sodium chloride with potassium chloride; D2 – cheese made with 30% replacement of sodium chloride with potassium chloride. A higher percentage of salt substitution is impossible due to the unpleasant iodine taste, which spoils the quality of cheese and does not meet the requirements of current regulations on organoleptic characteristics.

The course of lipolytic processes in brynza from sheep's and cow's milk and their mixture in a ratio of 1:1 with partial replacement of salt with potassium chloride was studied. It is established that partial replacement of table salt has a positive effect on the cleavage of some free fatty acids. There are also intergroup differences in the course of lipolytic processes in different types of cheese: there is a tendency to a higher content of unsaturated fatty acids in samples with 30% replacement of sodium chloride with potassium chloride. There are no significant intergroup differences in the composition of free fatty acids and the sum of saturated and unsaturated free fatty acids.

Comparing the results of studies of sheep's and cow's milk cheese with combined milk cheese, it was found that the amount of free saturated fatty acids is the lowest in the samples of mixed milk cheese. As for the amount of unsaturated fatty acids, the highest level was in the cheese from the combined milk, and the lowest – in the cheese from sheep and cow's milk.

Key words: *cheese, pickled cheese, sodium chloride, potassium chloride, lipolysis, fatty acids.*

У світі спостерігається стабільне зростання рівня споживання сирів, що стимулює збільшення обсягів їх виробництва. Натуральні сири є особливо важливими для забезпечення людини повноцінним харчуванням. Вони мають високу біологічну цінність, що зумовлена концентруванням та модифікацією компонентів молока. Сири наділені широкою гамою смакових відтінків, а їх виробництво відрізняється високою рентабельністю і, як наслідок, ростом річних обсягів [1–4].

Останнім часом спостерігається збільшення зацікавленості споживачів розсільними сирами. Це один із сегментів, який найдинамічніше розвивається в Україні та займає особливу нішу у сироробній галузі.

До розсільних сирів традиційного асортименту належать чанах, тушинський, осетинський, кобійський, ереванський, грузинський, сулугуні, бринза, моцарелла, чечіл та місцеві (національні – болгарський *сирене*, турецький *без пейнір*, румунська й українська *бринза*, іранський *лігван*, ліванський *набульсі*) види. Виготовляються розсільні сири у багатьох країнах Європи – Німеччині, Греції, Румунії, Болгарії, Франції. Масове виробництво розсільного сиру є найпоширенішим у Нідерландах та Греції.

Для нас, українців, улюбленим сиром уже кілька десятків років поспіль є бринза! Щоб поласувати нею, на фестиваль «Гуцульська бриндзя» у місто Рахів на Закарпатті щороку восени з'їжджаються тисячі туристів не тільки з України, але і з-за кордону.

Завдяки щорічному фестивалю і популяризації таким чином традиційного гуцульського продукту Міністерством розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України видано свідоцтво про реєстрацію права про використання зареєстрованого зазначення походження товару – сир «Гуцульська овеча бриндзя». Свідоцтво видане відповідно до Закону України «Про охорону прав на зазначення походження товарів».

Зазначається, що «Гуцульська овеча бриндзя» – це перше українське географічне зазначення, яке відповідає всім європейським вимогам до реєстрації і має право на

визнання в ЄС. Заявку на реєстрацію географічного зазначення було подано громадською спілкою «Асоціація виробників традиційних карпатських високогірних сирів» 19 грудня 2018 року. Відповідний сертифікат бринза отримала у 2019 році.

«Гуцульська овеча бриндзя» виготовляється на високогірних пасовищах (полонинах) з овечого молока відповідно до традицій, які беруть свій початок ще з XV століття. Зона виробництва охоплює Закарпатську, Івано-Франківську області та частину Чернівецької.

За повідомленнями декількох видавництв 20 вересня 2019 року Верховна Рада ухвалила Закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення правової охорони географічних зазначень».

Географічне зазначення є знаком, що наноситься на упакування продукту і засвідчує його високу якість, багаторічну традицію виробництва й особливий зв'язок з територією, де його виготовляють. Географічні зазначення допомогли здобути світове визнання, зокрема, таким продуктам, як шампанське, коньяк, сири Рокфор, Пармезан [5].

В Україні традиційним способом виготовляється бринза з овечого, коров'ячого, козиного молока чи їх суміші [6]. За результатами дегустаційного оцінювання бринза з овечого молока порівняно із бринзою з коров'ячого молока та їх суміші характеризується найбільш ніжним, помірно щільним тістом, злегка ламким; чистим, кисломолочним смаком і запахом [7]. Виготовлення бринзи за удосконаленою технологією зі збереженням усіх характерних особливостей є актуальним завданням сироробної галузі.

Великий внесок у розвиток теоретичних і практичних основ виробництва розсільних сирів здійснили закордонні та вітчизняні вчені: Г.Б. Рудавська, З.Х. Диланян, В.М. Туринський, P.F. Fox, Katsiari, M.S. Vicente, T. Bintsis, P. Papademos, A.A. Nayaloglu, M. Guven, E.C. Pappa, M.M. Ayyash, F. Sherkat, N.P. Shah та ін.

Особливістю технології розсільних сирів є визрівання у розчині солі певної концентрації. Фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси у сирі та інтенсивність їх перебігу залежать від концентрації кухонної солі в розсолі.

Помірна кількість солі підвищує ступінь гідратації білків сиру, впливаючи на формування пластичної його консистенції, запобігаючи небажаним перетворенням сірковмісних амінокислот, що спричиняє утворення сірководню. Але надмірне споживання кухонної солі та пов'язані з цим ризики захворювань викликають тривогу та зумовлюють необхідність зниження вмісту кухонної солі (NaCl) у харчових продуктах [8].

Одним зі шляхів зменшення концентрації хлориду натрію і одночасного попередження погіршення якості бринзи, зменшення термінів її зберігання є часткова його заміна хлоридом калію. Про позитивні результати такої заміни засвідчують дані авторів Австралії та США: Ayyash, Sherkat, Shah (2012), Shakeel-Ur-Rehman і ін. (2003), Parademas і Robinson (2009). Дослідження проводилися на твердих сирах, проте саме розсільні сири відзначаються найвищим вмістом хлориду натрію (4...7%), а літературні дані щодо вивчення такої заміни у них відсутні.

Наше завдання – виготовити бринзу з овечого, коров'ячого молока та їх суміші у співвідношенні 1:1 зі зниженим вмістом кухонної солі та частковою заміною кухонної солі хлоридом калію, а також дослідити перебіг ліполітичних процесів у виготовлених зразках сиру бринза.

Для виготовлення бринзи було використано ферментний препарат СНУ-МАХ виробництва фірми Chr.Hansen (Данія). СНУ-МАХ – це рекомбінантний хімозин, отриманий ферментацією за допомогою *Aspergillus niger var. Awamori*.

Як заквашувальну культуру використано препарат прямого внесення RSF-742 (Chr.Hansen, Данія), що містить у своєму складі такі штами молочнокислих бактерій: *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus helveticus*.

Виготовлено по 3 зразки бринзи з овечого, коров'ячого молока та їх суміші у співвідношенні 1:1. К – контрольний зразок із використанням хлориду натрію; Д1 і Д2 – бринза, що виготовлена з 20 і 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію відповідно. Зразки з вищим відсотком заміни не отримали схвальних відгуків дегустаційної комісії, тому більше не використовувались.

Визначення вмісту вільних жирних кислот у зрілому сирі досліджували методом Deeth (1983) у два етапи: випарювання і метилювання.

Молочний жир, котрий входить до складу бринзи, є енергетично цінним компонентом, його особливістю є висока біологічна цінність та підвищена засвоюваність організмом людини [9–12].

Як засвідчують дані таблиці 1, жирнокислотний склад вільних жирних кислот, що демонструють процеси ліполізу триацилгліцеролів бринзи, виготовленої із 20 і 30% заміною кухонної солі хлоридом калію, не проявляв особливих відмінностей. Однак є відмінності у відщепленні окремих жирних кислот, найактивніше у цей процес втягується пальмітинова кислота, а найменше – ліолева. Цікаво відзначити відмінності між ліолевою і олеїною кислотами, другою за активністю відщеплення є олеїнова кислота. Менш активно гідролізується зв'язок із лауриноювою кислотою, її відсоток у складі вільних жирних кислот не перевищує 4, тоді як міристинової сягає понад 15. Щодо співвідношення між насиченими і ненасиченими жирними кислотами, то відмінності неістотні, можна лише відзначити тенденцію до більшого вмісту ненасичених жирних кислот у зразках із 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію.

Таблиця 1

Склад вільних жирних кислот у бринзі з овечого молока, % за масою (n=3, p<0,05)

Жирні кислоти	Зразки бринзи		
	К	Д1	Д2
C12:0	4,81± 0,12	4,66± 0,12	4,85± 0,11
C14:0	15,69± 0,13	15,68± 0,11	15,37± 0,11
C16:0	45,56± 0,11	45,57± 0,13	45,68± 0,10
C18:0	14,69± 0,14	14,75± 0,11	14,3± 0,12
C18:1	18,23± 0,12	18,30± 0,10	18,3± 0,12
C18:2	1,02± 0,12	1,04± 0,12	1,5± 0,13
Сума Насичених	80,75± 0,12	80,66± 0,12	80,20± 0,13
Сума ненасичених	19,25± 0,12	19,34± 0,11	19,80± 0,12

З одержаних даних робимо висновок про незначні міжгрупові відмінності у жирнокислотному складі вільних жирних кислот бринзи з овечого молока.

Як засвідчують результати таблиці 2, склад вільних жирних кислот коров'ячої бринзи, котра виготовлена з 20 та 30% заміною кухонної солі хлоридом калію, має деякі особливості. Найменший вміст у всіх зразках встановлено для лауринової кислоти, котрої втричі менше, ніж міристинової та практично удев'ятеро менше, ніж пальмітинової. Другою за кількістю є олеїнова кислота, кількість якої у всіх дослідних зразках бринзи коливається в межах 18,78...18,95%.

Таблиця 2

Склад вільних жирних кислот бринзи з коров'ячого молока, % за масою (n=3, p<0,05)

Кислота	Зразки бринзи		
	К	Д1	Д2
C12:0	5,02± 0,12	5,4± 0,13	5,36± 0,14
C14:0	15,73± 0,12	15,79± 0,10	15,68± 0,13
C16:0	44,46± 0,13	44,3± 0,11	44,46± 0,14
C18:0	14,92± 0,14	14,8± 0,12	14,92± 0,12
C18:1	18,95± 0,12	18,8± 0,12	18,78± 0,10
C18:2	0,92± 0,11	0,91± 0,10	0,8± 0,12
Сума насичених	80,13	80,29	80,42
Сума ненасичених	19,87	19,71	19,58

Щодо складу вільних жирних кислот та суми насичених і ненасичених вільних жирних кислот істотних міжгрупових відмінностей не зареєстровано.

Як вказують результати досліджень складу вільних жирних кислот, істотних міжгрупових відмінностей не встановлено (табл. 3), тобто вказані чинники на процеси ліполізу не впливають. Порівнявши результати досліджень зразків бринзи з овечого та коров'ячого молока із бринзою з комбінованого молока (табл. 1, 2 і 3), робимо висновок, що сума вільних насичених жирних кислот є найнижчою у зразках бринзи з комбінованого молока. Що стосується суми ненасичених жирних кислот, то найвищий їх рівень був у бринзі з комбінованого молока (близько 23%), а найнижчий – у бринзі з овечого та коров'ячого молока (близько 19%).

Отже, ліполітичні процеси у бринзі з овечого, коров'ячого молока та їх суміші у співвідношенні 1:1 проходять з однаковою інтенсивністю, однак зафіксовано деякі міжгрупові відмінності. Зразки бринзи з частковою заміною кухонної солі хлоридом калію характеризуються вищою концентрацією деяких жирних кислот порівняно з контрольним зразком. Це доводить доцільність використання заміни кухонної солі.

Таблиця 3

**Склад вільних жирних кислот бринзи із суміші молока, % за масою
(n=3, p<0,05)**

Жирні кислоти	Зразки бринзи		
	К	Д1	Д2
C12:0	3,76± 0,11	3,8± 0,12	3,81± 0,13
C14:0	13,43± 0,12	13,5± 0,13	13,47± 0,10
C16:0	44,75± 0,04	44,6± 0,11	44,7± 0,12
C18:0	14,57± 0,05	14,6± 0,12	14,50± 0,12
C18:1	22,3± 0,03	22,3± 0,13	22,31± 0,11
C18:2	1,19± 0,11	1,2± 0,12	1,21± 0,12
Сума насичених	76,51± 0,11	76,5± 0,12	76,48± 0,11
Сума ненасичених	23,49± 0,11	23,5± 0,12	23,52± 0,10

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Каган Я.Р. Сыры с пробиотической микрофлорой. *Сыроделие и маслоделие*. 2009. № 2. С. 24–27.
- Молоко коров'яче – сировина. Технічні умови ДСТУ 3662–97. Чинний від. 2007-01-01. Київ : Держспоживстандарт України. 2007. 16 с.
- Генералова Н.А., Лобасенко Б.А., Шейфель О.А. Новый мягкий кислот-но-сычужный сыр. *Сыроделие*. 2000. № 4. 14 с.
- Свириденко Ю.Я., Мордвинова Ю.Я., Свириденко В.А. Инновационные разработки в области сыроделия. *Сыроделие и маслоделие*. 2011. № 3. С. 17–19.
5. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2834061-guculska-brindza-v-ukraini-zarestruvani-persij-geograficnij-brend.html>.
- Крусь Г.Н., Кулешова И.М. Технология сыра и других молочных продуктов. Москва : Колос, 1992. 320 с.
- Вудмаска І.В., Голубець О.В. Ізомерний склад жирних кислот молока корів при заміні частини клітковини раціону цукром. *Науково-технічний бюлетень*. 2008. Вип. 9, № 1, 2. С. 89–93.
- Скульська І.В., Цісарик О.Й. Вплив часткової заміни хлориду натрію на протеоліз при виробництві бринзи. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. № 5/11 (71). 2014. 126 с.
- Кравців Р.Й., Цісарик О.Й., Параняк Р.П. Біохімія молока. Львів, 2000. 149 с.
- Bauman D.E., Corl B.A. The biology of conjugated linoleic acid in ruminants. Champaign: AOCS Press. 2003. P. 146–173.
- Ciury S., Molik E., Pustkowiak H. Changes in the level of fatty acids and cholesterol in the milk of polish longwool sheep during the milk utilization period. *Rocz. Nauk. Zoot., Supl.* 2001. 12. P. 147–151.
- Coda R., Brechany E., De Angelis M. Comparison of the Compositional, Microbiological, Biochemical, and Volatile Profile Characteristics of Nine Italian Ewes' Milk Cheeses. *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89. P. 4126–4143.

REFERENCES:

1. Kahan, Ya.R. (2009). Syry s probyotycheskoi mykrofloroi. Syrodelye y maslodelye. No. 2, pp. 24–27 [in Ukrainian].
2. Moloko koroviache – syrovyna. Tekhnichni umovy DSTU 3662–97. Chynnyi vid. 2007-01-01. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 2007. 16 p. [in Ukrainian].
3. Heneralova, N.A., Lobasenko, B.A., Sheifel, O.A. (2000). Novyi miahkyi kyslotno-sychuzhnyi syr. Syrodelye. No. 4, 14 p. [in Ukrainian].
4. Svyrydenko, Yu.Ia., Mordvynova, Yu.Ia., Svyrydenko, V.A. (2011). Ynnovatsyonnye razrabotky v oblasti syrodelyia. Syrodelye y maslodelye. No. 3, pp. 17–19 [in Russian].
5. Retrieved from: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2834061-guculska-brindza-v-ukraini-zareestruvali-persij-geograficnij-brend.html>.
6. Krus, H.N., Kuleshova, Y.M. (1992). Tekhnolohyia syra i druhykh molochnykh produktov. Moskva: Kolos, 320 p. [in Russian].
7. Vudmaska, I.V., Holubets, O.V. (2008). Izomernyi sklad zhyrnykh kyslot moloka koriv pry zamini chastyny klitkovyny ratsionu tsukrom [Isomeric composition of fatty acids of dairy cows when replacing part of the dietary fiber with sugar]. *Naukovo-tekhnichnyi biuletyn*. Vyp. 9, № 1, 2. Pp. 89–93 [in Ukrainian].
8. Skulska, I.V., Tsisaryk, O.Y. (2014). Vplyv chastkovoï zaminy khlorydu natriiu na proteoliz pry vyrobnytstvi brynzy [The effect of partial replacement of sodium chloride on proteolysis in the production of cheese]. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 5/11 (71). Pp. 126 [in Ukrainian].
9. Kravtsiv, R.Y., Tsisaryk, O.Y., Paraniak, R.P. (2000). Biokhimiia moloka. Lviv, 149 p. [in Ukrainian].
10. Bauman, D.E., Corl, B.A. (2003). The biology of conjugated linoleic acid in ruminants. *Champaign: AOCS Press*. Pp. 146–173.
11. Ciury, S., Molik, E., Pustkowiak, H. (2001). Changes in the level of fatty acids and cholesterol in the milk of polish longwool sheep during the milk utilization period. *Rocz. Nauk. Zoot., Supl.* 12. Pp. 147–151.
12. Coda, R., Brechany, E., De Angelis, M. (2006). Comparison of the Compositional, Microbiological, Biochemical, and Volatile Profile Characteristics of Nine Italian Ewes' Milk Cheeses. *Journal of Dairy Science*. Vol. 89. Pp. 4126–4143.

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION,
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 628.14

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.17>

СХЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СЕЛИЩІ МІСЬКОГО ТИПУ КОЗАЦЬКЕ БЕРИСЛАВСЬКОГО РАЙОНУ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Волошин М.М. – кандидат технічних наук,

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

ORCID ID: 0000-0003-0467-1963

У статті наведено актуальність роботи, яка полягає в реформуванні, модернізації та розвитку водопостачання в Україні. Наведені проблеми, які потребують невідкладного розв'язання, що обумовлено, перш за все, постійним збільшенням заборгованості по оплаті послуг зі сторони бюджетних організацій та населення. Представлено аналіз роботи системи водопостачання селища міського типу Козацьке. Наведено аналіз реалізації проєктних рішень щодо системи водопостачання селища. Представлено мета роботи та завдання для досягнення зазначеної мети, а саме: провести аналіз загальної характеристики селища міського типу Козацьке та перспективи його розвитку; провести аналіз роботи наявної системи водопостачання і її технічний стан; провести гідравлічні розрахунки водопровідної мережі; обґрунтувати основні проблеми функціонування системи водопостачання селища міського типу Козацьке; надати рекомендації щодо усунення недоліків функціонування системи водопостачання селища міського типу Козацьке і її розвитку. Представлено місце розташування селища міського типу Козацьке. Наведені структурні та кількісні показники водоспоживачів. Представлено показники заявленого та фактичного водокористування. Приведена характеристика системи водопостачання населеного пункту. Представлено джерело водопостачання селища. Представлено характеристики свердловини №2-25 та модернізовано – занурений насос ЕВВ8-25-100 обладнаний перетворювачем частоти обертання вісі електродвигуна. Наведено напірно-регулюючі споруди на території ЗСО свердловин розташовані 10 водонапірних башт з різною місткістю і висотою стовбура. Представлена характеристика трубопроводної мережі та її подальша можливість експлуатації. Наведено втрати води в системі водопостачання селища. Представлено висновки та пропозиції стосовно оптимізації роботи та реконструкції водопровідної мережі селища міського типу Козацьке.

Ключові слова: оптимізація, реконструкція, водопровідна мережа, сучасний стан, перспективний план, модернізація.

Voloshin M.M. Scheme of optimization and reconstruction of water supply networks in the town of Kozatske, Beryslav district, Kherson region

The article presents the relevance of the work, which is to reform, modernize and develop water supply in Ukraine. These are problems that need to be addressed immediately, primarily

due to the constant increase in arrears of payment for services from budgetary organizations and the public. An analysis of the operation of the water supply system of the Cossack urban-type settlement is presented. The analysis of realization of design decisions concerning system of water supply of the settlement is resulted. The purpose of work and tasks for achievement of the specified purpose are presented, namely: to carry out the analysis of the general characteristic of the settlement of urban type Kozatske and prospects of its development; to analyze the operation of the existing water supply system and its technical condition; to carry out hydraulic calculations of a water supply network; to substantiate the main problems of functioning of the water supply system of the urban-type settlement Kozatske; to provide recommendations on eliminating the shortcomings of the functioning of the water supply system of the urban-type settlement Kozatske and its development. The location of the urban-type settlement Kozatske is presented. Structural and quantitative indicators of water consumers are given. Indicators of declared and actual water use are presented. The characteristics of the water supply system of the settlement are given. The source of water supply of the settlement is presented. The characteristics of the well №2-25 are presented and the submersible pump EBB8-25-100 equipped with the motor axis speed converter is modernized. Pressure-regulating constructions on the territory of ZSO of wells are located 10 water towers with different capacity and height of a trunk. The characteristics of the pipeline network and its further possibility of operation are presented. Water losses in the water supply system of the village are given. Conclusions and proposals on optimization of work and reconstruction of the water supply network of the town of Kozatske are presented.

Key words: optimization, reconstruction, water supply network, current state, long-term plan, modernization.

Постановка проблеми. Актуальність реформування, модернізації та розвитку водопостачання України обумовлена надзвичайно тяжким становищем, в якому на сьогоднішній день опинилася ця найважливіша галузь житлово-комунального господарства [1; 2]. Неприйняття найближчим часом радикальних та термінових заходів призведе до виходу з ладу основних складових елементів системи, внаслідок чого створиться реальна загроза дестабілізації водозабезпечення населення.

Фінансовий стан водопровідно-каналізаційних підприємств населених пунктів України незадовільний, що обумовлено, перш за все, постійним збільшенням заборгованості по оплаті послуг зі сторони бюджетних організацій та населення, надто низькими тарифами на воду.

Стан вивчення проблеми. Система водопостачання селища міського типу Козацьке побудована за проектом 1960 р. і здана в експлуатацію у 1962 році. Проект і матеріали експлуатації за 59 років функціонування системи майже не збереглися. Водокористувачем є комунальне підприємство «Козацький багатогалузевий комбінат комунальних підприємств» Новокаховської міської ради [3; 4; 5].

У зв'язку з незадовільним технічним станом водопровідної мережі і споруд потреба в воді по селищу не досягла запланованих значень, тому будівництво нових об'єктів системи водопостачання було недоцільним.

Таким чином, аналіз реалізації проектних рішень щодо системи водопостачання селища показав: нинішні проблеми пов'язані з кардинальними політичними та економічними змінами в Україні, які внесли значні корективи в реалізацію генерального плану селища та попередньої проектною системи водопостачання.

Завдання і методика досліджень. Метою роботи є розробка довгострокової комплексної схеми оптимізації системи водопостачання смт Козацьке, яка містить заходи, спрямовані на поступовий розвиток системи водопостачання і підвищення надійності та якості послуг.

Для досягнення означеної мети вирішувалися такі завдання:

- провести аналіз загальної характеристики селища міського типу Козацьке та перспективи його розвитку;
- провести аналіз роботи наявної системи водопостачання і її технічний стан;
- провести гідравлічні розрахунки водопровідної мережі;

– обґрунтувати основні проблеми функціонування системи водопостачання селища міського типу Козацьке;

– надати рекомендації щодо усунення недоліків функціонування системи водопостачання селища міського типу Козацьке і її розвитку.

Результати досліджень. Селище міського типу Козацьке, розташоване на території Бериславського району в північно-західній частині Херсонської області на правому березі річки Дніпро. На півночі район межує з Нововоронцовським районом, на сході – з лівобережними Каховським і Горностаївським і Великолепетиським районами, на заході – зі Снігурівським районом Миколаївської області й Великоолександрівським районом Херсонської області, на півдні – з Білозерським районом. План розташування селища міського типу Козацьке показано на рис. 1. Селище розташоване в межах Причорноморської низовини на правобережжі нижнього Дніпра в межах супіщано-лесової тераси терасово-дельтової долини [1].



Рис. 1. План розташування селища міського типу Козацьке

На основі даних Козацької селищної ради і Козацького державного багатогалузевого комбінату структура і кількість водоспоживачів на 2020 р. і на перспективу до 2023 р. наведено в табл. 1 [3]. Умовно споживачів можна розділити на комунально-побутовий, суспільний сектори та сектор індивідуальної власності. В житловому секторі розміщуються громадські будівлі та споруди, а саме: дитячі ясла-сад, школа, об'єкт охорони здоров'я, торговельного, культурного та комунального призначення [4; 5].

За прогнозними розрахунками суттєвої зміни зазнають комунально-побутовий сектор, тваринництво і транспортні засоби індивідуального сектору.

Збільшення абонентів водопостачання до прогнозованого рівня можливе в зоні забудови у межах вул. Миру, Бериславська, Південна, Таврійська, Молодіжна, Польова, де проєктом 1960 р. не передбачено будівництво водопровідної мережі.

Населення селища становить 3890 мешканців, із них 3730 чоловік забезпечується централізованим питним водопостачанням із підземних джерел – артезіанських свердловин багатогалузевим комбінатом комунальних підприємств, що здійснює свою роботу згідно ліцензії АВ № 047341.

Таблиця 1

**Структура і кількість водоспоживачів
(матеріали Козацького державного багатогалузевого комбінату)**

Назва споживача	Одиниці виміру	Кількість	
		2020	2023
1. Населення:			
– Забудови будівлями, облаштованими внутрішнім водопроводом і каналізацією	осіб	3900	4700
– 3 вуличних ВРК	осіб	50	63
Утримання худоби:			
– Корови	гол.	223	280
– Кози	гол.	152	188
– Свині дорослі	гол.	140	174
– Птиця	гол.	5800	7206
Миття автотранспорту	шт.	289	347
Полив присадибних ділянок 183 дн.	м ²	121755	151268
2. Бюджетні установи			
Школа (251 дн.)	осіб	385	426
Фельдшерський – акушерський пункт (251 дн.)	відвідувачі	10	10
Адміністративна будівля, сільська рада (251 дн.)	прац.	12	12
Дитячий садок (251 дн.)	дітей	65	75
3. Інші споживачі			
Продовольчі магазини, кафе (365 дн.)	кількість	35	37

Схема наявної системи водопостачання являє собою інженерний комплекс, до складу якого входять водозабори із підземного джерела, водоводи, мережа трубопроводів і напірно-регулююча споруда – водонапірні башти, пожежні резервуари.

Система запроєктована і побудована для господарсько-питного і протипожежного водопостачання. На 2019 рік згідно заявленого водокористування підземні води (заявлена потреба – 286 тис. м³/рік або 783,6 м³/добу; фактично піднято – 265,339 тис. м³/рік або 373 м³/добу) призначені виключно для господарсько-питного водопостачання населення і установ (Висновки Південно-Української гідрологічної експедиції Причорноморського ДРГП, № 92 від 30.06.2006 р. і № 112 від 22.05.2007 р.; дозвіл на спеціальне водокористування, виданий Державним управлінням охорони навколишнього природного середовища в Херсонській області № Укр 5492-ХРС від 16.05.2009 р., а також №5492-ХРС від 15.11.2010 по 01.01.2023 р.).

Система водопостачання смт Козацьке проєктувалася, споруджувалася поетапно за кошти окремих підприємств, частково реконструювалася як система багатofункціонального призначення (комунально-питного, виробничого і протипожежного водопостачання). За об’єктивних причин вона трансформувалася в однофункціональну для вирішення виключно комунально-побутових проблем, при цьому знизилася річна витрата і знизився вільний напір, що не відповідає вимогам БНіП 2.04.02-84. Наявна система на сьогодні складається із 9 локальних водопроводів, схема яких водозабір-водоводи-розподільча мережа. Насосні станції (свердловини) розташовані окремо і працюють автономно, подаючи воду в мережу через водонапірну башту (живлення мережі за схемою з прохідним резервуаром або безпосередньо в мережу водопостачання).

Єдиним джерелом водопостачання селища є підземні води. Забір води із підземного водоносного горизонту здійснюється 10 свердловинами, 10 на балансі у водокористувача. Усі свердловини експлуатуються більше ніж 25 років [5].

Підприємство експлуатує прогнозні ресурси підземного водоносного горизонту меотис-верхньо-сарматських відкладень. Згідно з даними Козацького багатогалузевого комбінату комунальних підприємств (у подальшому Козацький БККП) за проектом водозабірні споруди (свердловини) розміщуються по території селища окремо у межах зон санітарної охорони суворого режиму. У зв'язку зі зменшенням обсягу споживання питної води робоча свердловина № 2-26 була перепрофільована із робочої на резервну і використовується для поливу зелених насаджень і присадибних ділянок виключно у вегетаційний період. У зв'язку зі зменшенням середньої добової і з метою економії електроенергії витрати свердловину № 2-25 модернізовано – занурений насос ЕВВ8-25-100 обладнано перетворювачем частоти обертання вісі електродвигуна (рис. 2), інші цілодобово подають воду до розподільної мережі.



Рис. 2. Блок управління режимом роботи насосного агрегата свердловини № 2-25

В якості напірно-регулюючих споруд на території ЗСО свердловин розташовані 10 водонапірних башт з різною місткістю і висотою стовбура. Перший пояс санітарної охорони свердловин має розміри не більше 30х30м, тип огородження – залізобетонні плити, колючий дріт [6].

Переважна більшість трубопроводів і споруд побудована в середині 60-х років і експлуатується без належного капітального ремонту та реконструкції, водопровідна мережа повністю амортизована і не забезпечує герметичність.

Згідно наданих матеріалів Козацьким БККП загальна протяжність водопровідної мережі становить 29,34 км: в робочому стані 19,34 км, 10 км потребують капітального ремонту [3; 4; 5]. В таблиці 2 надано паспортні дані щодо зовнішньої трубопроводної мережі – діаметри труб і довжини ділянок.

Таблиця 2

**Структура зовнішньої водопровідної мережі на 2020 р.
(дані Козацького БККП)**

Матеріал труб	Діаметр,мм	Довжина ділянки, м
Азбестоцементні	100	5860
Азбестоцементні	150	2380
Сталеві	63	260
Сталеві	76	2600
Сталеві	89	4030
Сталеві	100	1080
Сталеві	150	330
Чавунні	100	7130
Поліетиленові ПЕ 80	50	520
Поліетиленові ПЕ 80	63	1940
Поліетиленові ПЕ 80	90	2720
Поліетиленові ПЕ 80	110	490
Всього		29340

У зв'язку з великим відсотком зносу водопровідних мереж, відсутністю коштів на планову їх заміну збільшилося кількість аварій на ділянках трубопроводу. В результаті реконструкції аварійних ділянок водопровідної мережі господарським способом було прокладено нові поліетиленові трубопроводи $d=50$ мм, $d=63$, $d=90$ і $d=110$ мм загальною довжиною 5670м. На ділянках 59-Т-33, 28-Т-11, 67-Т-43 – (ПЕ – $d=50$ мм); 5-Т-2, 6-Т-3, 12-Т-4, 43-Т-48, 45-Т-29, 62-66, 65-66, 66-Т-37 – (ПЕ – $d=63$ мм); 16-21, 20-21, 21-Т-6, 23-Т-7, 47-51 67-Т-39 – (ПЕ – $d=90$ мм); 77-78, 34-35, 35-Т-23 – (ПЕ – $d=110$ мм), що стало причиною зміни гідравлічного режиму в системі трубопроводної мережі.

У зв'язку з нестабільністю надходження питної води до споживачів без гідравлічного обґрунтування в літній період здійснювалося зонування системи, подача води окремими ділянками трубопроводів регулювалася дроселюванням або ділянки тимчасово відключалися, в результаті чого змінювався гідравлічний режим в системі трубопроводної мережі.

Відновлення водопровідних мереж значно відстає від їх фактичного зносу. Втрати води в системі водопостачання селища становлять 13%. З кожним роком на мережах селищного водопроводу збільшується кількість аварій і поривів.

У зв'язку з відсутністю фінансового ресурсу повільними темпами виконується робота з упровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Висновки та пропозиції. 1. Приймаючи до уваги фактичний стан системи водопостачання і враховуючи результати виконаних розрахунків, рекомендовано до впровадження схему, якою передбачено модернізацію наявної системи децентралізованого водопостачання і подальший її розвиток до зонної централізованої системи водопостачання з оптимізацією технологічних можливостей.

2. Ураховуючи світові тенденції до збільшення ціни на електроенергію і матеріальні ресурси необхідно, у першу чергу, максимально підвищити ефективність діючої системи водопостачання, виконавши такі заходи:

– Модернізувати наявні водозабори №№2-24, 2-269, 2-142, 2-288, 2-215, 2-23, 2-26, 2-27, 2-25, 2-289, св.11, св.12 (N=12шт), шляхом будівництва колодязя і розміщення в ньому облікового обладнання поданої води, яке забезпечить високу

ефективність використання електроенергії. З метою підвищення ефективності роботи занурених насосів рекомендується обладнати насосні агрегати 11 свердловин №№2-24, 2-269, 2-142, 2-288, 2-215, 2-23, 2-26, 2-27, 2-289, св.11, св.12 перетворювачами частот. Відновити ЗСО свердловин №№2-24, 2-269, 2-142, 2-288, 2-215, 2-23, 2-26, 2-27, 2-25, 2-289, св.11, св.12.

– Реконструювати монтажні вузли наявних колодязів водопровідної мережі, замінивши металеві фасонні частини й арматуру, які експлуатувалися 50 років, що забезпечить зменшення непродуктивних втрат води, поліпшення гідравлічних характеристик трубопроводної системи, скоротить витрати на усунення аварійних ситуацій.

– Побудувати нові ділянки трубопроводів із поліетиленових труб ПЕ80, d=90мм, SDR11 загальною довжиною 5480м.

– Ліквідувати наявну свердловину №2-26 і побудувати нову, що підвищить надійність роботи системи водопостачання, використання водного ресурсу підземного джерела і забезпечить нормативну якість питної води.

3. Пропонованою схемою модернізації свердловин №11 і №12 забезпечиться раціональне їх використання. Не дивлячись на тривалий термін консервації свердловин, збереглася їх працездатність, вони можуть ефективно використовуватись в якості робочих, для чого доцільно відновити їх питомий дебіт і обладнати насосні агрегати перетворювачами частоти. Підвищення ККД при їх модернізації за результатами експлуатації таких систем-аналогів може скласти 40–50%. Перевагою реконструкції свердловин №11 і №12 є можливе використання наявної інфраструктури (водопровідної мережі й електропостачання).

4. Запропоновані заходи є достатньо ефективними і взаємозв'язаними, тому вони повинні реалізовуватися поетапно після гідравлічних випробувань і паспортизації наявної водопровідної мережі, залежно від можливостей джерел фінансування і технічного оснащення комунального підприємства. Трубопроводи, які не витримали випробувального тиску необхідно у першу чергу замінити на поліетиленові відповідного економічно обґрунтованого діаметра.

5. Резерви підвищення ефективності наявної системи водопостачання будуть практично вичерпані після впровадження запропонованих першочергових (найважливіших) заходів, тому структурно-логічною схемою передбачено перехід до впровадження важливих і перспективних заходів:

– Упровадити контрольно-вимірвальне обладнання, тобто виконати монтаж у абонентів точок обліку води і нових приладів вимірювання напорів і витрат води в підземних павільйонах свердловин.

– Реалізувати адміністративні та організаційні заходи.

– Упровадити диспетчеризацію і моніторинг технологічних показників.

– Забезпечити потреби системи протипожежного водопостачання. Тимчасово (до завершення реконструкції водопровідної мережі) включити до схеми оптимізації чинну схему протипожежного водопостачання із залученням пожежних автомашин МНС м. Берислава і м.Нова Каховка. Заправка водою їхніх ємностей передбачається із 5 пожежних гідрантів (вул. Шевченка, будинок культури; вул. Шевченка, св. 2-288; вул. Шевченка, вузол 25; вул. Нова, тупик Т-35; пер. Шевченка, вузол 59), які для забезпечення нужд пожежогасіння слід відновити і розмістити на мережі біля будівель суспільного призначення. У перспективі до системи протипожежного водопостачання слід задіяти 3 наявні пожежні резервуари об'ємом по 100м³ кожний, але після їх реконструкції.

6. Подальше зниження рівня платіжного навантаження на споживачів можливе лише за умови впровадження заходів, які зменшують втрати води. Але цей

напрямок може дати ефект лише за можливості споживача сплачувати за фактичний обсяг споживання води згідно показань приладів обліку.

7. Необхідно застосовувати комплексні рішення щодо автоматизації системи водоспоживання й організації обліку спожитої електроенергії з перспективою створення єдиної автоматизованої системи контролю й обліку її витрат. У цьому випадку насоси на свердловинах повинні бути обладнаними частотними перетворювачами. Ці заходи дозволять скоротити витрати електричної енергії на 30%.

8. Зростання питомих витрат коштів щодо утримання системи водопостачання призводить до збільшення тарифів на воду, тому слід провести її аудит, результати якого покажуть, чи є комунальне підприємство конкурентно спроможним на ринку вироблення питної води і які заходи необхідно впровадити, щоб підвищити ефективність її роботи на базі енергозберігаючих технологій. У зв'язку з відсутністю фінансового ресурсу повільними темпами проводиться робота з упровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

9. Модернізація водопровідної мережі та основного насосного обладнання дозволить комунальному підприємству знизити витрати на забір води та її транспортування, підвищити якість питної води і надійність водопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Нежлукченко В.М. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційного проєкту «Схема оптимізації роботи централізованої системи водопостачання населеного пункту». Водопровідні мережі. Облік води. Херсон : ХДАУ НВЦ «Колос», 2016. 31 с.

2. Волошин М.М. Розробка схеми оптимізації роботи комбінованого головного колектора «КНС-5 – КНС-4» централізованої системи водовідведення міста Херсона. *Таврійський науковий вісник. Серія «Технічні науки»*. 2021. № 4. С. 61–67.

3. Річний звіт Козацького державного багатогалузевого комбінату комунальних підприємств за 2018 рік.

4. Річний звіт Комунального підприємства «Козацький державний багатогалузевий комбінат комунальних підприємств» Новокаховської міської ради за 2019 рік.

5. Річний звіт Комунального підприємства «Козацький державний багатогалузевий комбінат комунальних підприємств» Новокаховської міської ради за 2020 рік.

6. Зони санітарної охорони. #ВОДАВСЕЛО. URL: <https://vodavselo.info/> (дата звернення: 30.09.2021).

REFERENCES:

1. Nezhlukchenko, V.M. (2016). *Methodychni rekomendatsiyi dlya vykonannya kvalifikatsiynoho proektu «Skhema optymizatsiyi roboty tsentralizovanoyi systemy vodopostachannya naselenoho punktu»*. *Vodoprovidni merezhi. Oblik vody* [Methodical recommendations for the implementation of the qualification project “Scheme of optimization of the centralized water supply system of the settlement”. Water supply networks. Water accounting]. Kherson. KHDAU NVTS «Kolos». 31 s. [in Ukrainian].

2. Voloshyn M.M. (2021). *Rozrobka skhemy optymizatsiyi roboty kombinovanoho holovnoho kolektora «KNS-5 – KNS-4» tsentralizovanoyi systemy vodovidvedennya mista Khersona* [Development of the scheme of optimization of work of the combined main collector “KNS-5 – KNS-4” of the centralized drainage system of the city of Kherson]. *Tavriys'kyi naukovyy visnyk, (tekhnichni nauky)* [Taurian Scientific Bulletin, (technical sciences)]. no. 4. 61–67. [in Ukrainian].

3. *Richnyy zvit Kozats'koho derzhavnoho bahatohaluzevoho kombinatu komunal'nykh pidpryyemstv za 2018 rik (Novokakhov's'ka mis'ka rada)* [Annual report of the Cossack

State Multidisciplinary Combine of Public Utilities for 2018 (Novokakhovka City Council)]. [in Ukrainian].

4. *Richnyy zvit Komunal'noho pidpryyemstva «Kozats'kyi derzhavnyy bahatohaluzevyy kombinat komunal'nykh pidpryyemstv» za 2019 rik (Novokakhovs'ka mis'ka rada)* [Annual report of the Municipal Enterprise “Cossack State Multidisciplinary Combine of Public Utilities” for 2019 (Novokakhovka City Council)]. [in Ukrainian].

5. *Richnyy zvit Komunal'noho pidpryyemstva «Kozats'kyi derzhavnyy bahatohaluzevyy kombinat komunal'nykh pidpryyemstv» za 2020 rik (Novokakhovs'ka mis'ka rada)* [Annual report of the Municipal Enterprise “Cossack State Multidisciplinary Combine of Public Utilities” for 2020 (Novokakhovka City Council)]. [in Ukrainian].

6. Zony sanitarnoyi okhorony. #VODAVSELO [Sanitary protection zones. #VODAVSELO]. Retrieved from: <https://vodavselo.info/> [in Ukrainian]. (2021, September, 30).

УДК 626.81/84;631.67

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.18>

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ЗРОШЕННЯ В ПІВДЕННОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕЛІОРАТИВНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

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

Козленко Є.В. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант
Інституту зрошуваного землеробства
Національної академії аграрних наук України
ORCID ID: 0000-0003-3001-8220

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

Впровадження реформування системи державного управління щодо зрошення та дренажу повинно здійснюватись на засадах інтегрованого, комплексного управління водними і земельними ресурсами. Роботи з відновлення та розвитку зрошення насамперед мають проводитись на зрошувальних системах Каховського магістрального каналу, Інгулецької зрошувальної системи та інших зрошувальних системах південного регіону України з уже існуючими міжгосподарськими та внутрішньогосподарськими каналами та діючою меліоративною інфраструктурою за наявного резерву потужностей для забору та подачі води на зрошення. Нарощування площ поливу має проводитись шляхом здійснення модернізації та реконструкції систем зрошення на землях, що раніше поливались з максимальним використанням існуючих внутрішньогосподарських мереж.

Відновлення та збільшення площ зрошуваних земель, дренажних систем в межах кожної зрошувальної системи має проводитись за результатами техніко-економічного обґрунтування. Інгулецька зрошувальна система, Сірогозька зрошувальна система та Перекопський магістральний канал мають особливо значні резерви для розширення площ зрошення шляхом виконання заходів, які передбачені Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року.

Введення додаткових площ міжгосподарської зрошувальної мережі буде створювати передумови для залучення інвестицій у відновлення, модернізацію та розвиток внутрішньогосподарської зрошувальної інфраструктури та розвиток сільських територій. Залучення організацій водокористувачів до використання, експлуатації та технічного обслуговування об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем буде сприяти участі зацікавлених сторін у процесі прийняття рішень у відповідній сфері державної політики, поліпшення якості надання послуг із зрошення та дренажу і прозорості формування тарифів, стимулюванню механізму державно-приватного партнерства.

За умов вирощування на зрошуваних землях високорентабельних сільськогосподарських культур за новітніми агротехнологіями, а саме кукурудзи на зерно, сої, пшениці

озимої за одночасного здійснення заходів для збереження і відтворення родючості ґрунтів та екологічної безпеки зрошення буде забезпечено необхідну окупність інвестицій в розвиток зрошення.

Ключові слова: стратегія, розвиток зрошення, концептуальні засади, зрошувальні системи, технічний стан, меліоративна інфраструктура.

Morozov O.V., Morozov V.V., Kozlenko Ye.V., Morozova O.S. Conceptual plant development of group in the Pivdenny region of Ukraine from the health of the technical station of the reclaiming infrastructure

The implementation of the reformation of the system of state management in order to increase drainage is guilty of being ambushed by an integrated, integrated management of water and land resources.

Irrigation restoration and development works should be carried out primarily on the irrigation systems of the Kakhovka Main Canal, Ingulets Irrigation System and other irrigation systems of the southern region of Ukraine with existing inter-farm and in-farm canals and existing reclamation infrastructure for water supply. The increase of irrigation areas should be carried out by modernization and reconstruction of irrigation systems on lands that were previously irrigated with maximum use of existing on-farm networks.

Renovation and improvement of the area of rough lands, drainage systems in the boundaries of the skin blasting system may be carried out following the results of technical and economic priming. Inguletska zroshuvalna system, Sirogozka zroshuvalna system and the Perekop main canal may have especially significant reserves for expanding the area of expansion by way of entrances, as if transferring the Strategy for drainage and drainage in Ukraine for the period until 2030.

The introduction of additional areas of the inter-government zroshuvalny merezhi will create a change of mind for investment in renovation, modernization and development of the internal state zroshuvalnaya infrastructure and development of rural areas. The organization of water treatment plants to victories, operation and technical maintenance of the facilities of the engineering infrastructure of reclamation systems will be attended by interested parties in the process the increase in the quality of service delivery from the increase and drainage and transparency of the formation of tariffs, the stimulation of the mechanism of state-private partnership.

If highly profitable crops are grown on irrigated lands using the latest agricultural technologies, namely corn for grain, soybeans, winter wheat, while taking measures to preserve and restore soil fertility and environmental safety of irrigation will provide the necessary return on investment in irrigation.

Key words: Strategy, irrigation development, conceptual principles, irrigation systems, technical condition, reclamation infrastructure.

Постановка проблеми. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року, яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р. (далі – Стратегія) [1] визначає стратегічні напрями державної політики щодо зрошення та дренажу, забезпечення сталого екологічно збалансованого розвитку зрошувального землеробства в Україні.

Мета досліджень – на основі узагальнення багаторічного досвіду експлуатації зрошувальних систем та розвитку зрошувального землеробства науково – обґрунтувати систему технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення відновлення ефективного використання наявного потенціалу зрошення у Південному регіоні України та подальший його сталий розвиток.

Об’єкт дослідження – сучасний стан використання зрошувальних систем та зрошуваних земель та перспективи розвитку зрошення у Південному регіоні України.

Матеріали дослідження. Були використані матеріали Басейнового управління водних ресурсів нижнього Дніпра, Управління каналів Інгулецької зрошувальної системи, Інституту зрошувального землеробства НААН, Інституту водних проблем і меліорації НААН, Снігурівської гідролого-меліоративної партії, Херсонського державного аграрно-економічного університету.

Методологія дослідження побудована на принципах системного підходу до обстеження і оцінки складних природно-технічних об’єктів (технічний стан,

параметри та режими роботи зрошувальної та колекторно-дренажної мережі, еколого – меліоративний стан земель та стан водних ресурсів, технології зрошувального землеробства, нормування технологічних впливів тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання сучасного стану, перспектив розвитку використання зрошувальних систем та підвищення продуктивності зрошуваних земель в умовах глобальних та регіональних змін клімату розкриті в роботах М.І. Ромащенко, Р.А. Вожегової, В.О. Ушкаренка, С.А. Балюка, А.М. Рокочинського, В.В. Морозова, О.І. Жовтоног, О.В. Морозова, А.П. Шатковського, Є.В. Козленка та інших вітчизняних вчених [2–10].

Виклад основного матеріалу досліджень. Результати аналізу та узагальнення чинного технічного стану зрошувальних систем та їх меліоративної інфраструктури в Південному регіоні України дають підставу стверджувати:

– про наявність у Південному регіоні, створеної за радянських часів мережі магістральних та розподільчих каналів з відповідним насосно-силовим обладнанням та регульованими гідротехнічними спорудами, проєктні потужності якої значно перевищують рівень її використання. За цього особливо значні резерви для розширення площ зрошення мають Інгулецька зрошувальна система, Сірогозька зрошувальна система, Перекопський магістральний канал (рис. 1).

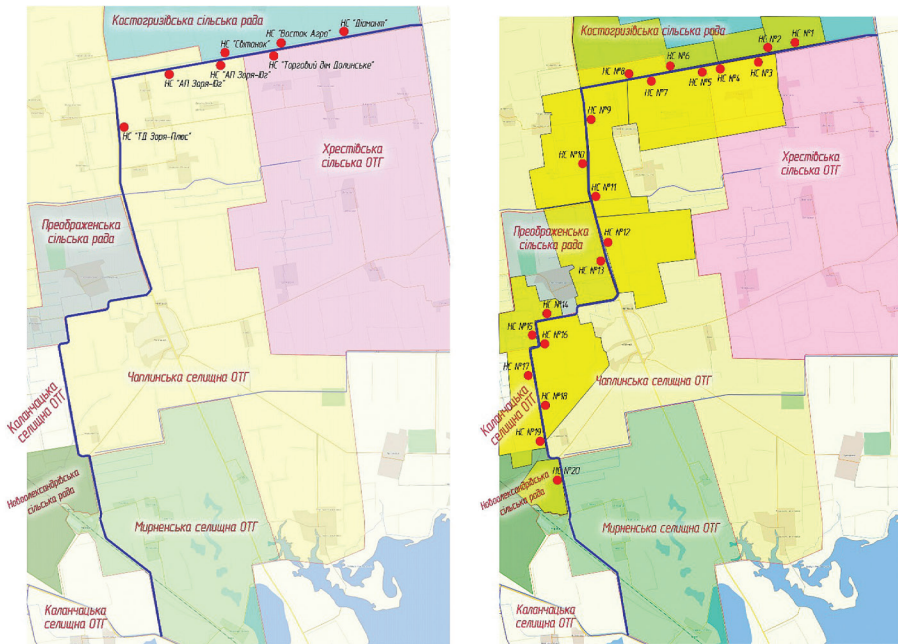
– технічний стан каналів, головних насосних станцій перекачки та підкачки, регулювання споруд суттєво знижує проєктні можливості існуючих зрошувальних систем внаслідок значних втрат води на фільтрацію, високих питомих витрат електроенергії на подачу води із-за низьких (порівняно з новітніми типами) коефіцієнту корисної дії (ККД) насосно-силового обладнання.

– наявна структура управління зрошувальними системами унеможливорює залучення кредитних або інвестиційних ресурсів на реалізацію заходів з модернізації та реконструкції наявних міжгосподарських та внутрішньогосподарських зрошувальних систем та їх розширення і сталий розвиток. У проєкті Закону України «Про організації водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель» передбачається залучення організацій водокористувачів до використання, експлуатації та технічного обслуговування об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем. Це буде сприяти стимулюванню механізму державно-приватного партнерства.

– наявна система оплати послуг за подачу води на зрошення є недосконалою – понад 70% складає вартість електроенергії. У структурі вартості із подачі (забору) води на полив у 2021 році Басейновим управлінням водних ресурсів нижнього Дніпра Держводагентства України 79% складає вартість електроенергії, 21% – витрати на власні послуги (рис. 2). Середня вартість послуг із подачі (забору) води на полив та структура вартості послуг Управління каналів річки Інгулець (УКРІ) із подачі (забору) води на полив у 2021 році (Миколаївська та Херсонська області) представлена на рис. 3.

– відсутність в існуючому законодавстві України відповідних положень та норм, які визначають відповідальність землевласників та землекористувачів за цільове та ефективне використання зрошувальних систем та зрошуваних земель і можуть стати підставою для їх консолідації.

– неефективність визначеного відповідною Постановою Кабінету Міністрів України рішення про передачу внутрішньогосподарських мереж у комунальну власність, що обумовило низьку ефективність її використання та чисельні випадки не цільового використання та руйнування; порушення технологічної цілісності зрошувальних систем, яку спричинено розпаюванням земель і, як наслідок, земельних ділянок та збільшенням кількості землекористувачів (табл. 1).



а) наявні насосні станції б) проєктні площі зрошуваних земель

Рис. 1. Карта-схема фактичного стану зрошення та перспективи розширення площ зрошуваних земель та будівництва нових насосних станцій на Перекопському каналі

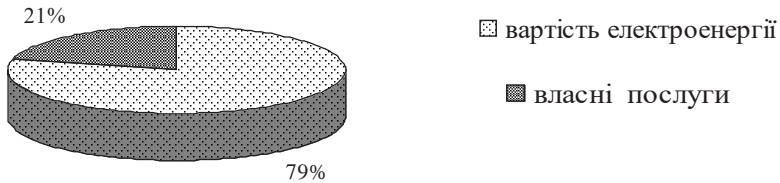


Рис. 2. Структура вартості послуг із забору води на полив у 2021 році Басейновим управлінням водних ресурсів нижнього Дніпра Держводагентства України

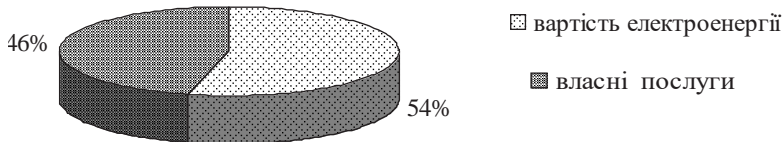
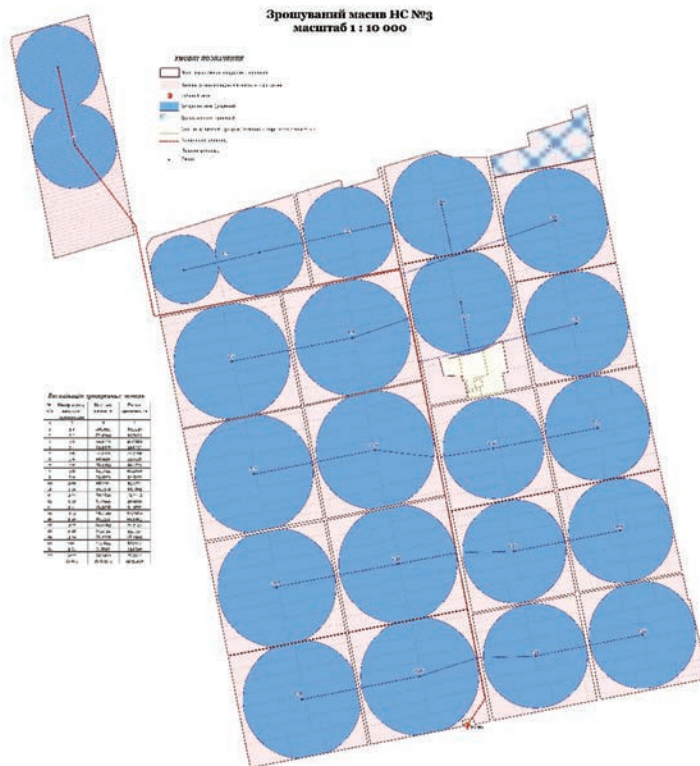


Рис. 3. Структура вартості послуг Управління каналів річки Інгулець із подачі (забору) води на полив у 2021 році (Миколаївська та Херсонська області)

Таблиця 1

**Експлікація зрошуваних земель у межах НС 3 каналу Р-1
Каховської зрошувальної системи**

Загальна площа, га	Площа зрошення, га	Площа богарних земель, га	Кількість землевласників
1676,4372	1273,1120	403,3252	392



*Рис. 4. Карта зрошуваного масиву НС 3 каналу Р-1
Каховської зрошувальної системи*

Для реалізації Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року відновлення та розвиток зрошення має базуватись на наступних положеннях:

1. Роботи з відновлення та розвитку зрошення насамперед мають проводитись на зрошувальних системах Каховського магістрального каналу, Інгулецької зрошувальної системи та інших зрошувальних системах південного регіону України з уже існуючими міжгосподарськими та внутрішньогосподарськими каналами та діючою меліоративною інфраструктурою за наявного резерву потужностей для забору та подачі води на зрошення. У таблиці 2 приведені дані щодо проєктних площ зрошуваних земель та фактично политих площ за останні роки по Інгулецькій, Явкинській та Спаській зрошувальних системах, джерелом зрошення яких є річка Інгулець.

Таблиця 2

**Проектна наявність зрошуваних земель та фактично політі площі
по Інгулецькій, Явкинській та Спаській зрошувальних системах**

Назва зрошувальної системи	Проектна наявність зрошуваних земель, тис. га	Фактично поливається	
		тис. га	%
Інгулецька	60,8	23,9	39,3
Явкинська	50,3	2,8	5,6
Спаська	10,2	4,7	46,1

Фактичні площі додаткового зрошення в межах кожної зрошувальної системи мають бути визначені за результатами техніко-економічного обґрунтування.

2. Нарощування площ поливу має проводитись шляхом здійснення модернізації та реконструкції систем зрошення на землях, що раніше поливалися з максимальним використанням існуючих внутрішньогосподарських мереж. Потенційне збільшення площ поливу у межах каналу Р-1 Каховської зрошувальної системи представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Наявні площі та площі поливу у межах каналу Р-1
Каховської зрошувальної системи**

Зрошуваний масив	Загальна площа, га	Площа зрошення, га	Не поливні землі, га
Каховський район			
Всього по району	21352,0037	16329,5686	5022,4351
Херсонський район			
Всього по району	2604,3794	1788,2714	816,108
Всього по каналу	23956,3831	18117,8400	5838,5431

Проектування та будівництво нових зрошувальних систем та насосних станцій необхідно передбачити на другому етапі відновлення та сталого розвитку зрошення.

Орієнтовна вартість будівництва однієї насосної станції буде складати 20669,484 тис. грн. Орієнтовна вартість будівництва 1 км міжгосподарського каналу буде складати 64877,653 тис. грн. (вартість визначена без вартості електромереж, будівництва внутрішньогосподарської мережі та придбання дощувальних машин).

У результаті введення додаткових площ міжгосподарської зрошувальної мережі очікується створення передумов для залучення інвестицій у відновлення, модернізацію та розвиток внутрішньогосподарської зрошувальної інфраструктури.

Очікувані інвестиції сільгосптоваровиробників у межах обслуговування однієї насосної станції – **181475,3** тис. грн.*:

у тому числі: інвестиції у будівництво внутрішньогосподарської зрошувальної мережі – **131075,3** тис. грн.**; інвестиції у придбання дощувальних машин – **50 400** тис. грн.***.

(* – із розрахунку на площу обслуговування однієї насосної станції (одна насосна станція обслуговує **1645** га; ** – орієнтовна вартість будівництва 1 га внутрішньогосподарської зрошувальної мережі – **79,681** тис. грн.; ** – орієнтовна вартість 1 дощувальної машини – **2520** тис. грн., проектом передбачається придбання 20 дощувальних машин (одна дощувальна машина обслуговує 80–85 га)***.)

Введення додаткових площ зрошуваних земель сприятиме інвестиційній привабливості та розвитку ринку земель сільськогосподарського призначення. За рахунок створення нових робочих місць збільшуються податки до місцевих органів самоврядування та зменшується рівень безробіття.

Створення додаткових робочих місць в структурі Держводагентства України (або іншій новоствореній структурі, яка буде займатися розвитком зрошення), у тому числі: обслуговування 1 насосної станції – 4 чол.; один змінний інженер-електрик на три насосні станції; обслуговування магістрального каналу один обхідник на 10 км каналу. Створення додаткових робочих місць у сільськогосподарських підприємствах, зокрема: один інженер-гідротехнік обслуговує три дощувальні машини; обслуговуючий, технічний персонал, робочі професії.

3. Модернізація та реконструкція зрошувальних систем має базуватися на застосуванні новітніх ресурсо- та енергоощадних низьконапірних систем дощування (ДМ «Фрегат», ФМ «Western», ДМ «Valley» та ін.).

Збільшити площі зрошення та, відповідно збільшити КЗВ, можна за рахунок зрошення кутових ділянок під дощувальними машинами кругової дії. Наприклад, кутові плечі ДМ «Valley» VFlex™ Corner», які забезпечують додаткову площу зрошення до 20–25%.

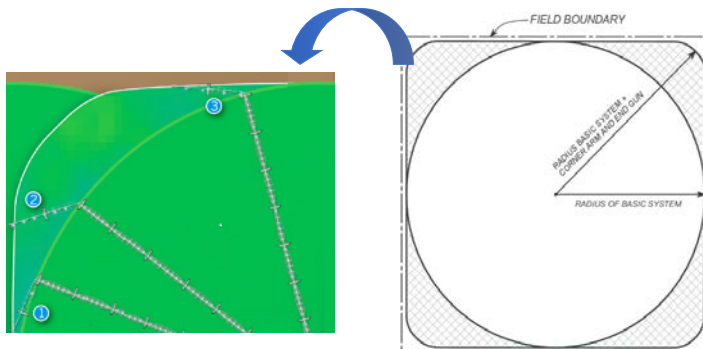


Рис. 5. Схема зрошення кутових ділянок під дощувальними машинами кругової дії



Рис. 6. Фактичне застосування схеми зрошення кутових ділянок під дощувальними машинами кругової дії

Також локальне збільшення площі поливу можливе за допомогою дощувальних пістолетів. Це дає змогу збільшити площу поливу додатково до 5–7% від загальної.

4. Зрошення необхідно відновлювати за безумовного дотримання вимог екологічної безпеки з максимальним урахуванням особливостей природних ландшафтів, еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, спрямованості ґрунтових процесів та режимів, родючості ґрунтів, можливості прояву процесів засолення, підлуження, осолонцювання та якості зрошувальної води.

Перш за все, відновлення зрошення необхідно на землях, які характеризуються добрим еколого-меліоративним станом і за умови застосування для поливу вод I класу якості за агрономічними та екологічними критеріями та оснащених системами дренажу (табл. 4, 5). Відновлення зрошення на землях, які характеризуються задовільним еколого-меліоративним станом і за умови застосування вод II класу якості має передбачатися лише за одночасного здійснення заходів з попередження розвитку негативних наслідків зрошення.

Таблиця 4

Еколого-меліоративний стан зрошуваних земель

Зрошувальна система	Площа, яка знаходиться під контролем, га	Еколого-меліоративний стан зрошуваних земель, га							РГВ +засолення+осолонцювання
		Добрий	Задовільний	Незадовільний					
				Всього	в тому числі через				
					Рівень ґрунтових вод (РГВ)	засолення	солонцюватості	засолення+осолонцювання	
Баштанський район, Миколаївська область									
Баштанська об'єднана територіальна громада (ОТГ)									
Явкінська	12367	12232	0	135	0	0	135	0	0
Інгулецька	2720	2720	0	0	0	0	0	0	0
Системи «малого» зрошення	257	257	0	0	0	0	0	0	0
Разом по ОТГ:	15344	15209	0	135	0	0	135	0	0

Таблиця 5

Сучасний стан площадного дренажу на Інгулецькій зрошувальній системі, тис. га

Область	Площа дренажу, га	Оснащеність насосними станціями	Самоплинний	Технічний стан	
				працює	не працює
Херсонська	9,850	4,296	5,554	5,554	4,296
Миколаївська	10,870	5,155	5,715	6,270	4,600
Усього по системі	20,720	9,451	11,269	11,824	8,896

З метою мінімізації процесів підтоплення у приканальних територіях та на зрошуваних землях з глибиною залягання ґрунтових вод 1,8–3,0 м передбачається застосування еколого безпечних режимів зрошення сільськогосподарських

культур. Головною ознакою яких є проведення поливів так званими еколого безпечними поливними нормами, величина яких є достатньою для покриття поточного дефіциту водоспоживання зрошуваної сільськогосподарської культури, але водночас унеможливорює або зводить до мінімуму втрати води на інфільтрацію за межі кореневого шару ґрунтів. Застосування таких режимів вимагає значно вищої культури зрошення, насамперед застосування більш досконалих способів, поливальної техніки та систем управління поливами.

5. Відновлення зрошення на основі застосування нових типів дощувальної техніки вимагає запровадження новітніх технологій вирощування сільськогосподарських культур, що забезпечують більш високий порівняно з попереднім періодом розвитку зрошення, рівень їх продуктивності, у тому числі й завдяки придатності дощувальної техніки до внесення добрив з поливною водою.

Для економії енергетичних ресурсів заслуговує на увагу внесення добрив із дощуванням (фертигація). Дощувальна машина «Valley», обладнана вузлом внесення добрив, керована контролером машини, дозволяє вносити рідкі добрива по трубопроводу машини і повністю виключає людський фактор під час контролю норми внесення. Точність дозування забезпечується контролером машини з допомогою дозаторного насоса для перекачування рідких добрив. Це гарантує дотримання заданої норми внесення рідких або водорозчинних добрив, що забезпечить якісно новий рівень роботи системи в автономному режимі (рис. 7–10).

Необхідну окупність інвестицій в розвиток зрошення буде забезпечено за умови вирощування на зрошуваних землях високорентабельних сільськогосподарських культур за новітніми агротехнологіями, а саме кукурудзи на зерно, сої, пшениці озимої (табл. 6) за одночасного здійснення заходів для збереження і відтворення родючості ґрунтів та екологічної безпеки зрошення.

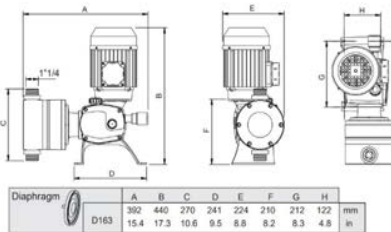


Рис. 7. Загальний вигляд дозаторного насоса 71-LD43-D163PBX-DSTEC50D



Рис. 9. Загальний вигляд мобільної фертигаційної установки

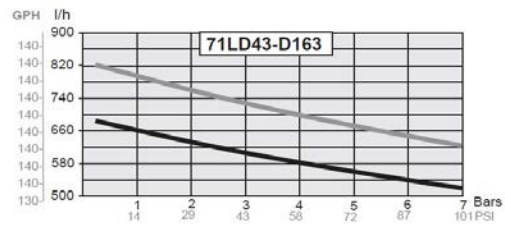


Рис. 8. Робочі характеристики діафрагмового насоса 71-LD43-D163

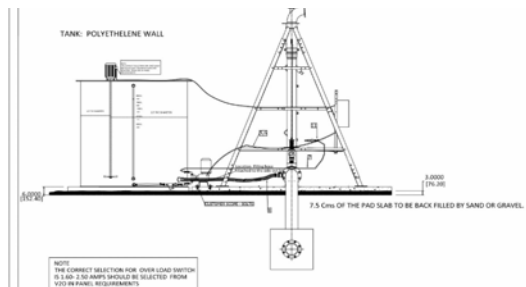


Рис. 10. Схема підключення стаціонарної фертигаційної установки до дощувальної техніки

Таблиця 6

Рівень прибутку та термін окупності інвестицій у зрошення по основним сільськогосподарським культурам

С.-г. культура	Урожайність, т/га		Приріст урожаю, т/га	Закупівельна ціна*, тис. грн/т	Прибуток, тис. грн/га	Термінокупності інвестицій**, років
	без зрошення	на зрошенні				
Озима пшениця	2,8	6,5	3,7	4,400	16,3	1,5–2,7
Кукурудза на зерно	2,5	9,9	7,4	4,180	30,9	1,0–1,5
Соя	1,1	3,08	1,98	10,800	21,4	1,2–2,1

* – закупівельні ціни ПАТ «Державна продовольчо-зернова корпорація України»

** – без врахування вартості інженерної інфраструктури та додаткових агротехнологічних операцій, що пов'язанні зі зрошенням

Висновки і пропозиції

1. Реформування системи державного управління щодо зрошення та дренажу має здійснюватися на засадах інтегрованого, комплексного управління водними і земельними ресурсами.

2. Відновлення та збільшення площ зрошуваних земель, дренажних систем в межах кожної зрошувальної системи має проводитись за результатами техніко-економічного обґрунтування. В Південному регіоні України Інгулецька зрошувальна система, Сірогозька зрошувальна система та Перекопський магістральний канал мають особливо значні резерви для розширення площ зрошення шляхом виконання заходів, які передбачені Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року.

3. У результаті введення додаткових площ міжгосподарської зрошувальної мережі будуть створені передумови для залучення інвестицій у відновлення, модернізацію та розвиток внутрішньогосподарської зрошувальної інфраструктури та розвиток сільських територій.

4. Залучення організацій водокористувачів до використання, експлуатації та технічного обслуговування об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем буде сприяти участі заінтересованих сторін у процесі прийняття рішень у відповідній сфері державної політики, поліпшення якості надання послуг із зрошення та дренажу і прозорості формування тарифів, стимулюванню механізму державно-приватного партнерства.

5. Необхідну окупність інвестицій в розвиток зрошення буде забезпечено за умови вирощування на зрошуваних землях високорентабельних сільськогосподарських культур за новітніми агротехнологіями, а саме кукурудзи на зерно, сої, пшениці озимої за одночасного здійснення заходів для збереження і відтворення родючості ґрунтів та екологічної безпеки зрошення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-p#Text>

2. Балюк С.А., Ромашенко М.І. Наукові аспекти сталого розвитку зрошення земель в Україні. Київ, 2006. 32 с.
3. Ромашенко М.І. Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ : Аграрна наука, 2012. 28 с.
4. Концепція відновлення та розвитку зрошення у південному регіоні України. Київ : ЦП «Компринт», 2004. 28 с.
5. Сучасна концепція хімічної меліорації кислих і солонцевих ґрунтів. Харків : ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського, 2008. 100 с.
6. Ромашенко М.І., Яцюк М.В., Жовтоног О.І., Дехтяр О.О., Сайдак Р.В., Матяш Т.В. Наукові засади відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах. *Меліорація і водне господарство*. Київ, 2017. № 106. С. 9–14.
7. Ромашенко М.І. та ін. Сталий розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. *Аграрні інновації*. Херсон, 2020. № 3. С. 59–64.
8. Вожегова Р.А. Перспективи використання зрошення для підвищення продуктивності сільськогосподарської галузі на глобальному та локальному рівнях в умовах змін клімату. *Зрошуване землеробство*. Херсон, 2016. № 65. С. 5–10.
9. Вожегова Р.А., Козленко Є.В., Морозов О.В., Морозов В.В. Шляхи реалізації Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року на Інгулецькій зрошувальній системі. *Зрошуване землеробство*. Херсон, 2021. № 75. С. 10–15.
10. Козленко Є.В., Морозов О.В., Морозов В.В. Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми та перспективи розвитку : монографія / за ред. О.В. Морозова. Херсон : Айлант, 2020. 204 с.

REFERENCES:

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na perioddo 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine for the period up to 2030]: skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14.08.2019 r. № 688-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-r#Text>[in Ukrainian].
2. Baliuk, S.A., Romashchenko, M.I. (2006). Naukovi aspekty staloho rozvytku zroshennia zemel v Ukraini [Scientific aspects of sustainable development of land irrigation in Ukraine]. Kyiv. 32 s. [in Ukrainian].
3. Romashenko, M.I. (2012). Naukovi zasady rozvytku zroshennia zemel v Ukraini [Scientific principles of land irrigation development in Ukraine]. Kyiv: Ahrarna nauka. 28 s/ [in Ukrainian].
4. Kontseptsiia vidnovlennia ta rozvytku zroshennia u pivdennomu rehioni Ukrainy [The concept of restoration and development of irrigation in the southern region of Ukraine]. Kyiv: TsP «Komprynt» [inUkrainian].
5. Suchasna kontseptsiia khimichnoi melioratsii kyslykh i solontsevykh gruntiv [Modern concept of chemical reclamation of acidic and saline soils]. Kharkiv: NNTs IHA imeni O.N. Sokolovskoho[inUkrainian].
6. Romashchenko, M.I., Yatsiuk, M.V., Zhovtonoh, O.I., Dekhtiar, O.O., Saidak, R.V. & Matiash, T.V. (2017). Naukovi zasady vidnovlennia ta rozvytk uzroshennia v Ukraini v suchasnykh umovakh [Scientific bases of restoration and development of irrigation in Ukraine in modern conditions]. *Melioratsiia I vodne hospodarstvo*, 106, 9–14 [in Ukrainian].
7. Romashchenko, M.I., Baliuk, S.A., Verhunov, V.A., Vozhehova, R.A., Zhovtonoh, O.I., Rokochynskiyi, A.M., Tarariko, Yu.O., & Truskavetskyi, R.S. (2020). Stalyi rozvytok melioratsii zemel v Ukraini v umovakh zmin klimatu [Sustainable development of land reclamation in Ukraine in the context of climate change]. *Agricultural innovations*, 3, 59–64 [in Ukrainian].
8. Vozhehova R.A. (2016). Perspektyvy vykorystannya zroshennya dlya pidvyshchennya produktyvnosti sil's'kohospodars'koyi haluzi na hlobal'nomu ta lokal'nomu rivnyakh v umovakh zmin klimatu [Prospects for the use of irrigation to increase the productivity of the agricultural sector at the global and local levels in the context of climate change]. *Zroshuvane zemlerobstvo*. № 65. S. 5–10. [in Ukrainian].

9. Vozhehova, R.A., Kozlenko, Ye.V., Morozov, O.V., & Morozov, V.V. (2021). Shlyakhy realizatsiyi Stratehiyi zroshennya ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku na Inhulets'kiy zroshuval'niy systemi [Ways to implement the Irrigation and Drainage Strategy in Ukraine for the period up to 2030 on the Ingulets irrigation system]. *Zroshuvane zemlerobstvo* 75. S. 10–15[inUkrainian].

10. Kozlenko, Ye.V., Morozov, O.V., & Morozov, V.V. (2020). Inhuletska zroshuvalna systema: stan, problemy ta perspektyvy rozvytku: monohrafiia [Ingulets irrigation system: state, problems and development prospects: monograph]. Kherson: Ailant. 204 s. [in Ukrainian].

УДК 517.272, 517.912
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.19>

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ ВОДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Сиваш С.Б. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри математики, фізики та астрономії
Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-9726-7865

Соколовська Г.В. – старший викладач кафедри математики,
фізики та астрономії
Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0001-8161-1660

Різке зростання світових цін на енергоносії актуалізує завдання мінімізації витрат матеріалів, електроенергії та інших ресурсів у гідротехнічному будівництві, судноплаванні та суміжних галузях. Дослідження таких завдань має значний теоретичний та вагомий практичний інтерес. Потужними засобами розв'язання широкого кола інженерних задач з практичним змістом є математичний аналіз та диференціальні рівняння. Побудова математичної моделі процесу дає можливість застосування методів оптимізації. Вибираючи певним чином параметри управління, можна оптимізувати цільову функцію, яка залежить від цих параметрів. Формалізація практичної задачі дозволяє відкинути фактори, що не мають визначного впливу на процес. Завдяки цьому стає можливим скласти диференціальне рівняння для дослідження фізичного процесу. Доповнення задачі початковими умовами дає можливість отримати єдиний розв'язок. Зазначимо, що здебільшого отримані диференціальні рівняння є нелінійними та розв'язуються лише наближеними методами.

У роботі розглянуто низку інженерних задач з практичним змістом. Зокрема, задача мінімізації поверхні каналу, що омивається; дослідження швидкості руху судна за певних умов; задача мінімізації витрат матеріалів у гідротехнічному будівництві та деякі інші задачі. Для їх розв'язання побудовано відповідні математичні моделі. Методами математичного аналізу функції однієї та декількох змінних, диференціальних рівнянь знайдено точні розв'язки цих задач.

Вивчення таких задач веде до більш глибокого розуміння фізичних явищ та процесів і можливості розв'язання задач, що виникають в інженерії та суміжних галузях, зокрема, аеродинаміці, теорії гравітації та у інших областях науки і техніки.

Ключові слова: мінімізація, функція, оптимізація, диференціальні рівняння, гідродинаміка.

Syvash S.B., Sokolovska H.V. Mathematical methods in the problems of water engineering

The sharp rise in world energy prices highlights the task of minimizing the cost of materials, electricity and other resources in hydraulic engineering, shipping and related industries. The study of such problems is of considerable theoretical and significant practical interest. Mathematical analysis and differential equations are powerful tools for solving a wide range of engineering problems with practical content. Building a mathematical model of the process allows the use of optimization methods. By selecting control parameters in a certain way, you can optimize the target function, which depends on these parameters. Formalization of a practical task allows to reject factors that do not have a significant impact on the process. This makes it possible to make a differential equation to study the physical process. Complementing the problem with initial conditions makes it possible to obtain a single solution. Note that in most cases the obtained differential equations are nonlinear and can be solved only by approximate methods.

The paper considers a number of engineering problems with practical content. In particular, the task of minimizing the surface of the channel being washed; study of the speed of the vessel under certain conditions; the task of minimizing the cost of materials in hydraulic engineering and some other tasks. Appropriate mathematical models have been built to solve them. Exact solutions of these problems have been found by methods of mathematical analysis of the function of one and several variables, differential equations.

The study of such problems leads to a deeper understanding of physical phenomena and processes and the ability to solve problems arising in engineering and related fields, including aerodynamics, gravity theory and other fields of science and technology.

Key words: *minimization, function, optimization, differential equation, hydrodynamics.*

Вступ. Сучасний етап розвитку математичних дисциплін зумовлений новими виробничими технологіями, інформатизацією та комп'ютеризацією виробничої діяльності. Освоєння нових технологій водної інженерії та суміжних галузей вимагають усе більш глибокого проникнення у суть природних процесів, і математика відіграє у цьому процесі дуже важливу роль.

Математизація науки дедалі поглиблюється [1], процес інтеграції її різних галузей приводить до нових класів задач, розв'язання яких є викликом для сучасних інженерів. Навіть елементарні фізичні процеси і явища дістають глибше розуміння у разі певної математичної розробки.

У курсі математичного аналізу значна увага приділяється вивченню неперервних функцій [2; 4], зокрема, тому що до таких функцій ми часто приходимо у процесі вивчення законів руху, температурних залежностей тощо. Водночас уже під час розглядання механічного руху доводиться мати справу з розривними функціями, коли тіло, що рухається, зазнає удару. Прикладом розривної функції може служити залежність від часу різниці потенціалів на виході генератора пилкоподібної напруги. Ця залежність виражається періодичною функцією, яка щоперіоду миттєво змінює свій знак на протилежний, зазнаючи при цьому розриву. Взагалі функції, що описують процеси, супроводжувані явищами ударного, імпульсного характеру, завжди мають точки розриву.

Одним з найпотужніших засобів математичного моделювання реальних процесів є диференціальні рівняння [3], які мають широке коло застосувань у задачах гідродинаміки, суднобудування та інших галузей водної інженерії.

Постановка проблеми. Практично в кожній проблемі технічного змісту ми маємо справу з величинами, значення яких у певних межах можемо задавати довільно (це так звані параметри управління), і з функціями, що залежать від них (так звані цільові функції). Задача полягає в тому, щоб вибрати такі можливі значення параметрів управління, які оптимізують цільову функцію. Математичне дослідження практичних задач містить зазвичай три етапи:

- а) побудову математичної моделі процесу;
- б) дослідження моделі та розв'язування отриманої математичної задачі;
- в) застосування отриманих результатів на практиці та пошук інших галузей застосування як цих результатів, так і самої математичної моделі.

Обов'язковим етапом побудови математичної моделі є ідеалізація та формалізація практичної задачі. На цьому етапі необхідно з'ясувати, які фактори не мають визначного впливу на процес, що відбувається. Нехтування ними дає можливість спростити задачу і скласти диференціальне рівняння.

Виклад основного матеріалу. Задача 1. Циліндричний бак виготовляють, зварюючи краї зігнутого у циліндр сталевого листа вздовж твірної і приварюючи з двох боків до одержаної труби днища. Якими повинні бути довжина твірної h і радіус днища r , щоб у разі заданого об'єму бака V загальна довжина зварних швів була мінімальною?

Згідно з умовою задачі загальна довжина зварних швів дорівнює $l = h + 4\pi r$. Тут $h > 0$, $r > 0$, причому h і r пов'язані умовою $\pi r^2 h = V$, звідки $h = \frac{V}{\pi r^2}$. Цільовою функцією є $l(r) = \frac{V}{\pi r^2} + 4\pi r$. Знаходимо стаціонарні точки.

$l'(r) = -\frac{2V}{\pi r^3} + 4\pi = 0$, звідки $r^3 = \frac{V}{2\pi^2}$, $r = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi^2}}$. Ця точка є точкою локального

мінімуму функції $l(r)$, а водночас і глобального, як легко пересвідчитися. Цьому значенню r відповідає довжина твірної $h = \frac{V}{\pi r^2} = \sqrt[3]{4\pi V}$.

Відношення $\frac{h}{r} = \frac{\sqrt[3]{4\pi V} \sqrt[3]{2\pi^2}}{\sqrt[3]{V}} = 2\pi$, отже, загальна довжина зварних швів буде мінімальною при $h = 2\pi r$, тобто коли довжина твірної дорівнює довжині контуру дна.

У багатьох реальних задачах доводиться оптимізувати функції кількох параметрів управління.

Задача 2. Переріз каналу має форму рівнобічної трапеції $ABCD$ заданої площі S (рис. 1). Якими мають бути величини l , b , α , щоб поверхня каналу, що омивається, була найменшою?

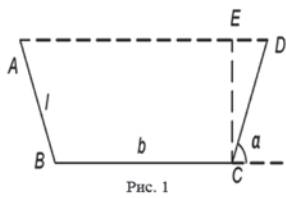


Рис. 1

Формалізуємо спочатку задачу. Зрозуміло, що шукана поверхня буде найменшою за найменшого значення величини

$$z = AB + BC + CD = 2l + b. \quad (1)$$

Але величини l , b , α мають бути такими, щоб переріз каналу мав задану площу S .

З геометричних міркувань $S = \frac{BC + AD}{2} \cdot EC$ (EC – висота трапеції).

Оскільки $EC = l \sin \alpha$, $BC = b$, $AD = BC + 2ED = b + 2l \cos \alpha$,

то $S = \frac{b + b + 2l \cos \alpha}{2} \cdot l \sin \alpha = (b + l \cos \alpha)l \sin \alpha$. Отже, $b = \frac{S}{l \sin \alpha} - l \cos \alpha$.

Підставивши це до (1), отримаємо:

$$z = l(2 - \cos \alpha) + \frac{S}{l \sin \alpha}. \quad (2)$$

З рис. 1 бачимо, що

$$0 < \alpha < \pi, \quad 0 < l < \infty. \quad (3)$$

Таким чином, отримана задача: визначити величини α та l , що задовольняють умови (3), за яких функція z , яка залежить від цих величин, набуває найменшого значення за умови, що S – стала величина.

Дослідимо спочатку функцію (2). Її область визначення D задана умовами (3) та зображена на рис. 2.

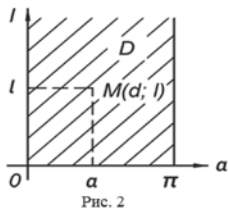


Рис. 2

Межа зображеної області не належить області визначення функції. З умов (3) видно, що функція (2) неперервна в D та набуває лише додатних значень. Позначимо через $M(\alpha; l)$

внутрішню точку області D . Якщо ця точка буде наближатися до межі області D , то буде виконуватися одна з таких умов: $\alpha \rightarrow 0$, або $\alpha \rightarrow \pi$, або $l \rightarrow 0$. У кожному з цих випадків а також при $l \rightarrow \infty$ ($0 < \alpha < \pi$) відповідно до рівності (2) функція $z \rightarrow +\infty$. З цього доходимо висновку, що додатна та неперервна в області D функція (2) має найменше значення, але найбільшого значення для неї не існує. Знайдемо частинні похідні функції z :

$$z'_\alpha = l \sin \alpha - \frac{S \cos \alpha}{l \sin^2 \alpha}, \quad z'_l = 2 - \cos \alpha - \frac{S}{l^2 \sin \alpha}.$$

Частинні похідні існують у всіх внутрішніх точках області D . Знайдемо точки, у яких частинні похідні дорівнюють нулю:

$$\begin{cases} l^2 \sin^3 \alpha - S \cos \alpha = 0, \\ l^2 \sin \alpha (2 - \cos \alpha) - S = 0. \end{cases}$$

З другого рівняння отримаємо:

$$l^2 = \frac{S}{(2 - \cos \alpha) \sin \alpha}. \quad (4)$$

Підставивши вираз (4) до першого рівняння системи, знайдемо

$$\alpha : \frac{S \sin^2 \alpha}{2 - \cos \alpha} - S \cos \alpha = 0, \quad \sin^2 \alpha - 2 \cos \alpha + \cos^2 \alpha = 0,$$

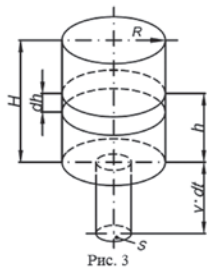
$$1 - 2 \cos \alpha = 0 \Rightarrow \cos \alpha = 0,5 \Rightarrow \alpha = 60^\circ.$$

$$\text{З рівності (4) знаходимо } l = \sqrt{\frac{S}{(2 - \cos 60^\circ) \sin 60^\circ}} = \frac{2\sqrt{S}}{\sqrt[4]{27}}.$$

Таким чином, функція (2) у точці $\left(\alpha = 60^\circ; l = \frac{2\sqrt{S}}{\sqrt[4]{27}}\right)$ набуває найменшого значення. Відповідна поверхня каналу, що омивається, дорівнює

$$b = \frac{2S\sqrt[4]{27}}{2\sqrt{3S}} - \frac{\sqrt{S}}{\sqrt[4]{27}} = \frac{2\sqrt{S}}{\sqrt[4]{27}}.$$

Задача 3. Нехай циліндричний резервуар, що має висоту H та радіус основи R , по вінця заповнений водою. Вода з резервуару виливається через отвір площі S у його дні (рис. 3).



Визначимо, за який час вся вода витече, якщо чверть усієї води виливається за t_1 секунд. Можна вважати цю задачу відображенням реального процесу скидання води з баластної системи судна. Зрозуміло, що вода з резервуару витікає нерівномірно, зменшення швидкості v витікання зумовлене зниженням висоти h стовпа рідини у цьому процесі. Згідно з законом Торрічеллі, точна рівність $v = k\sqrt{2gh}$, де g – прискорення вільного падіння, k – коефіцієнт, що пов'язаний з властивостями рідини та формою отвору, наприклад, для води у випадку круглого отвору $k = 0,6$. Нехай у момент часу t висота стовпа рідини дорівнювала h , а за проміжок часу тривалістю Δt вона знизилася до значення $h + \Delta h$ (Δh – від'ємний приріст висоти). Об'єм рідини ΔV , що вилілася за цей час, дорівнює об'єму циліндра висоти $|\Delta h| = -\Delta h$ з радіусом основи R : $\Delta V = -\pi R^2 \Delta h$. Ця рідина вилілася з резервуару у вигляді тоненького струменя циліндричної форми з площею основи S та висотою, що дорівнює шляху, який пройдено водою за проміжок часу $[t; t + \Delta t]$. На початку цього проміжку $v(t) = k\sqrt{2gh}$, а у кінці $v(t + \Delta t) = k\sqrt{2g(h + \Delta h)}$. Вважатимемо проміжок часу Δt (а відповідно й Δh) настільки малим, що ці значення швидкості є майже однаковими. Отже, вважаємо, що шлях, пройдений рідиною за проміжок часу $[t; t + \Delta t]$, дорівнює $k\sqrt{2gh} \cdot \Delta t$, тому об'єм рідини, що вилілася, дорівнює $\Delta V = k\sqrt{2gh} \cdot \Delta t \cdot S$. Прирівняємо два отримані вирази для ΔV . Маемо рівняння: $-\pi R^2 \Delta h = k\sqrt{2gh} \cdot \Delta t \cdot S$. Розділимо обидві частини останнього рівняння на Δt і перейдемо до границі при $\Delta t \rightarrow 0$, отримавши диференціальне рівняння з відокремлюваними змінними (5):

$$-\pi R^2 \frac{dh}{dt} = k\sqrt{2gh} \cdot S. \quad (5)$$

Розділимо обидві частини цього рівняння на $(-\pi R^2)$ і позначимо дріб $\frac{\pi R^2}{kS\sqrt{2g}}$ через A . Одержимо рівняння $dt = -\frac{A}{\sqrt{h}} dh$, загальний розв'язок якого має вигляд $t = -A(2\sqrt{h} + C)$, де C – довільна стала. Підставимо початкову умову: у початковий момент часу ($t = 0$) $h = H$ – висоті резервуара. Тоді $C = -2\sqrt{H}$, отже, отримаємо розв'язок задачі Коші: $t = -2A(\sqrt{h} - \sqrt{H})$. Він містить сталу A , значення якої залежить від площі поперечного перерізу резервуара, площі отвору та в'язкості рідини. Знайдемо A , використовуючи умову: за t_1 секунд спустошується чверть резервуара.

$$\text{Отже, значенню } t = t_1 \text{ відповідає } h = \frac{3}{4}H, \text{ тоді } A = \frac{t_1}{2\sqrt{H}\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)} = \frac{t_1(2 + \sqrt{3})}{\sqrt{H}}.$$

$$\text{Таким чином, } t = -2 \frac{t_1(2 + \sqrt{3})}{\sqrt{H}} (\sqrt{h} - \sqrt{H}) = 2t_1(2 + \sqrt{3}) \left(1 - \sqrt{\frac{h}{H}}\right).$$

Тепер нескладно знайти час повного спорожнення резервуара, підставивши у останню рівність $h = 0$.

Уся вода витече за $t = 2t_1(2 + \sqrt{3})$ секунд. Зрозуміло, що отримане значення не є точним. Адже ми знехтували капілярними явищами (а вони є істотними за малого діаметру отвору), завихренням рідини поблизу стінок резервуара (воно утворюється через те, що у цьому шарі рідини відбувається перехід швидкості від 0 до v) та багатьма іншими факторами. Проте отриманий результат є значно точнішим, аніж той, який би ми отримали, вважаючи швидкість витікання сталою (у цьому разі резервуар повністю спорожнів би за $4t_1$ секунд). Проаналізуємо отриманий результат. Враховуючи зв'язок між t_1 та A , маємо: $t = 2A\sqrt{H} = \frac{2\pi R^2\sqrt{H}}{kS\sqrt{2g}}$. Як бачимо, час, протягом якого спорожніє резервуар, тим більший, чим більшими є його розміри (R та H), і тим менший, чим більші площа отвору S та коефіцієнт k . Цей результат не суперечить здоровому глузду ще й тому, що величина, котра дорівнює дробу з останньої рівності, вимірюється у секундах.

Зауважимо, що за аналогією можна розв'язати таку саму задачу для резервуара будь-якої форми, необхідно лише знати функцію $\sigma(h)$, що виражає залежність площі поперечного перерізу резервуара σ від висоти h . Тоді замість рівняння (5) матимемо: $-\sigma(h)\frac{dh}{dt} = k\sqrt{2gh} \cdot S$, що також є рівнянням з відокремленими змінними.

Ще одне застосування диференціальних рівнянь ми знаходимо у задачі про рух судна маси m після вимикання двигуна.

Задача 4. Уявімо, що двигун було вимкнено у той момент ($t_0 = 0$), коли швидкість судна дорівнювала v_0 . Після цього судно рухається за інерцією, але дедалі повільніше, у момент часу t_1 ($t_1 > 0$) його швидкість вже дорівнює v_1 .

Поставимо задачу: знайти закон, за яким змінюється швидкість судна – функція $v(t)$, якщо опір середовища пропорційний швидкості. Нехай $a(t)$ – вільне прискорення, причому $a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$. Тоді сила, що діє на тіло у напрямі його руху, дорівнює $m \cdot \frac{dv}{dt}$. Оскільки ж ця сила за абсолютною величиною дорівнює силі опору середовища, а за напрямом їй протилежна, то шукана функція швидкості задовольняє диференціальне рівняння з відокремленими змінними

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -kv,$$

тут k – додатний коефіцієнт, що визначається властивостями середовища, у якому відбувається рух судна.

Розв'яжемо його.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -kv \Leftrightarrow \frac{dv}{v} = -\frac{k}{m} dt \Leftrightarrow \int \frac{dv}{v} = -\frac{k}{m} \int dt \Leftrightarrow \ln|v| = -\frac{k}{m}t + \ln|C|,$$

C – довільна стала, або $\ln|v| = \ln e^{-\frac{k}{m}t} + \ln|C|$. Звідки маємо: $v = Ce^{-\frac{k}{m}t}$. Якщо відома початкова швидкість v_0 судна, то, додавши умову $v(0) = v_0$ до диференціального рівняння, одержимо задачу Коші. Розв'язок задачі Коші: $v = v_0 e^{-\frac{k}{m}t}$. Якщо скористатись умовою $v(t_1) = v_1$, то можна знайти значення коефіцієнта пропорційності k :

$$v_1 = v_0 e^{-\frac{k}{m}t_1}, \text{ отже } k = \frac{m}{t_1} \ln \frac{v_0}{v_1}.$$

Таким чином, шукана функція швидкості: $v(t) = v_0 e^{-\frac{t \ln \frac{v_0}{v_1}}{t_1}} = v_0 \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^{\frac{t}{t_1}}$.

Висновки. Математичні методи, що застосовуються у гідродинаміці, можуть бути застосовані для розв'язування задач гідротехнічного будівництва, оптимізації судноплавства, аеродинаміки, теорії гравітації та у інших галузях науки і техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Клайн М. Математика. Поиск истины. Москва : Мир, 1988. 205 с.
2. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов: в 2 т. Москва : Наука, 1985. Т. 1. 429 с.
3. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов: в 2 т. Москва : Наука, 1985. Т. 2. 560 с.
4. Кирилов С.О., Кусік Л.І., Сиваш С.Б., Соколовська Г.В. Вища математика (частина 1) : підручник. Одеса : ФОП Кравченко Я.О., 2020. 175 с.

REFERENCES:

1. Klayn, M. (1988). *Matematika. Poisk istiny* [Maths. The search for truth]. Moscow: Mir [in Russian].
2. Piskunov, N.S. (1985). *Differentsial'noe i integral'noe ischisleniya dlya vtuzov* [Differential and integral calculations for universities]. Moscow: Nauka. Vol. 1 [in Russian].
3. Piskunov, N.S. (1985). *Differentsial'noe i integral'noe ischisleniya dlya vtuzov* [Differential and integral calculations for universities]. Moscow: Nauka. Vol. 2 [in Russian].
4. Kyrylov, S.O., Kusik, L.I., Syvash, S.B., Sokolovska, H.V. (2020). *Vyshcha matematika (chastyna 1)* [Higher Maths (part 1)]. Odesa: FOP Kravchenko Ya.O. [in Ukrainian].

УДК 624.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.20>

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ПЕРЕДАЧЕЮ СИЛ ПОПЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ НА БЕТОННУ СУМІШ

Чеканович М.Г. – кандидат технічних наук,
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109

Розглянуті та проаналізовані відомі у світовій будівельній практиці способи попереднього напруження залізобетонних конструкцій на упори та на затверділий бетон. Виявлені резерви підвищення міцності конструкцій, виготовлених за такими способами.

Розглянуто запропонований автором спосіб попереднього напруження залізобетонних конструкцій на бетонну суміш, який дозволяє значно зміцнити бетон і відповідно до його застосування збільшити міцність конструкцій.

Виявлено парадоксальну з традиційної точки зору річ – напруга в арматурі конструкції є, а відповідних деформацій пружного стиснення бетону немає, хоч арматура і закріплена в бетоні за рахунок зчеплення.

Проведені дослідження деформаційних властивостей бетонної суміші і бетону в умовах стиску. Встановлено, що традиційний погляд на залізобетон як на матеріал, що складається з бетону (штучного кам'яного матеріалу) і арматурної сталі, неповною мірою відображає дійсність щодо запропонованого способу напруження.

З'ясовано, що у разі натягу арматури й передачі сил попереднього напруження обтискується не бетон як кам'яний матеріал, а бетонна суміш, тобто суміш його компонентів (щебінь, пісок). А оскільки бетону власне ще немає, то зусилля попереднього натягу сприймають здебільшого тверді компоненти суміші (за технологією вода має можливість видалятися із суміші у разі обтиску). Таким чином, деформації стиснення компонентів бетонної суміші повною мірою відповідають зусиллю в арматурі. Всесвітній закон збереження енергії та закон Гука, звичайно, охоплюють наведені конструкції з натягом арматури на бетонну суміш. Тут маємо справу з явищем переходу зовнішньої енергії обтиску у внутрішню енергію зв'язку у разі фазового переходу бетонної суміші до твердого стану.

Розроблені основні підходи до розрахунку залізобетонних конструкцій з натягом арматури на бетонну суміш, що враховують передачу сил попередньої напруги на бетонну суміш, зміцнення бетону конструкції пресуванням.

Ключові слова: міцність, підсилення, деформації, бетонна суміш, спосіб на упори, спосіб на бетон, спосіб на бетонну суміш.

Chekanovych M.H. Features of calculation of building structures with transfer of prestressing forces onto concrete mix

The study considers and analyzes pre-tensioning and post-tensioning methods of prestressing reinforced concrete structures known in the world construction practice. It identifies reserves for increasing the strength of structures made using these methods.

The paper examines the author's method of prestressing reinforced concrete structures onto concrete mix that allows for significant strengthening of concrete and, depending on structures, provides their increased durability.

A paradoxical thing has been revealed – there is stress in the reinforcement of the structure, but there are no corresponding deformations of the elastic compression of concrete, although the reinforcement is fixed in the concrete by adhesion.

The paper investigated deformation properties of concrete mix and concrete under the conditions of compression. It has determined that the traditional understanding of reinforced concrete as a material consisting of concrete (artificial stone material) and reinforcing steel does not fully reflect the reality as to the proposed method of prestressing.

It was found that when the reinforcement is tensioned and the prestressing forces are transferred, it is not concrete as a stone material that is compressed, but the concrete mix, i.e.

the mix of its components (crushed stone, sand). Since there is no concrete yet, the prestressing forces are received mostly by solid components of the mix (according to the technology, water has the ability to be removed from the mix by compression).

Thus, compression deformations of the components of concrete mix fully correspond to the force in the reinforcement. The law of conservation of energy and Hooke's law, of course, also apply to the following structures with during-tensioning onto the concrete mix. Here we deal with the phenomenon of the transition of the external compression energy into the internal bond energy during the phase transition of the concrete mix to the solid state.

The paper develops major approaches to the calculation of reinforced concrete structures with during-tensioning onto the concrete mix; the approaches take into account the transfer of prestressing forces to the concrete mix, strengthening the concrete of the structure by pressing.

Key words: strength, reinforcement, deformation, concrete mix, pretension, post-tension, during-tension.

Вступ. Поряд з широко відомими способами попередньої напруги залізобетонних будівельних конструкцій на упори та на затверділий бетон останнім часом впроваджується у практику будування способів виготовлення конструкцій з натягом арматури на бетонну суміш. Пріоритет останнього належить автору [6]. Застосування запропонованого способу сприяє підвищенню міцності будівельних конструкцій, а розробка методів розрахунку забезпечує надійність проєктних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі у світовій будівельній практиці попередньо напружені залізобетонні конструкції виготовляють за двома способами на упори – *pretension* та на затверділий бетон – *post-tension* [1–4]. Обидва способи передбачають передачу зусилля попереднього напруження арматури на затверділий, міцний бетон. Тут попереднє напруження не зміцнює бетон і майже не впливає на міцність конструкції загалом. Для такого підходу детально розроблені норми розрахунку конструкцій [2–5]. Водночас автором розроблений новий спосіб попереднього напруження «на бетонну суміш» – *during-tension*, який дозволяє зміцнити бетон майже удвічі і відповідно до його застосування збільшити міцність конструкцій. Для цього способу методика розрахунку не досить розроблена, що стримує його використання на практиці, що може сповільнювати подальший прогрес у будівництві в цьому напрямі.

Постановка проблеми. Для поширення нової технології виготовлення залізобетонних елементів будівель і споруд, яка себе зарекомендувала на практиці як така, що значно підвищує міцність і довговічність конструкцій, необхідно мати надійні методи розрахунку. Якщо розглянути діючі зараз будівельні норми й правила для залізобетонних конструкцій [3–5], то виявиться, що цілий ряд явищ не вкладаються в їх межі. Тому виникла потреба розглянути й дати рекомендації щодо розрахунку будівельних конструкцій з натягом арматури на бетонну суміш.

Метою дослідження є розробка основ методики розрахунку напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, попередньо напружених за новим способом *during-tension* з передачею сил попередньої напруги на бетонну суміш.

Виклад основного матеріалу дослідження. Уже перші лабораторні досліді, проведені кафедрою будівництва, архітектури та дизайну ХДАЕУ на власній експериментальній базі з виготовлення та випробування залізобетонних балок, виявили парадоксальну з традиційної точки зору річ – напруга в арматурі ϵ , а відповідних деформацій пружного стиснення бетону немає, хоч арматура і закріплена в бетоні за рахунок зчеплення. Випробування залізобетонних балок підтвердило, що перша тріщина з'являється у зоні чистого вигину раніше, ніж цього треба було сподіватися. Тобто у разі заданої попередньої напруги арматури тріщина повинна з'явитися в бетоні за значно більших деформацій розтягування. Співставлення

з конструкціями, виготовленими за традиційним способом на упори з тим самим зусиллям попереднього натягу арматури, підтвердило, що якби картина напружено-деформованого стану співпадала в обох способах, то перша тріщина повинна з'явитися за більших деформацій розтягу в запропонованому способі.

Усе вищенаведене зовсім не доводить, що величина моменту тріщиноутворення $M_{\text{ср}}^{\text{ср}}$ обтисненої балки обов'язково нижча за традиційно виготовлену, бо ж обтиснений бетон має підвищену міцність, але за деформаціями бетону моменту появи тріщини відповідає значно більше його значення. Можливе заперечення, що внаслідок обтиснення бетонної суміші зменшилась його деформативність розтягування. За результатами випробування обтиснених і звичайних призм на вигин встановлено, що таке зменшення деформацій розтягування не перевищує 7×10^5 , а тому суттєво не впливає на величину моменту тріщиноутворення.

Так у чому ж тут справа? Деформації розтягування арматури ϵ , а деформації пружного стиснення бетону, на який закріплена арматура, малі і не відповідають зусиллю в арматурі. Може не діє закон Гука? А як же закон збереження енергії? На перший погляд парадокс.

Але якщо детальніше розглянути це питання, то виявиться, що традиційний погляд на залізобетон як на матеріал, що складається з бетону (штучного кам'яного матеріалу) й арматурної сталі, неповною мірою відображає дійсність щодо запропонованого способу напруження.

З'ясувати все це можна, повернувшись до виготовлення конструкцій. У разі натягу арматури й передачі сил попереднього напруження обтискуємо не бетон як кам'яний матеріал, а бетонну суміш, тобто суміш його компонентів (щебінь, пісок). А оскільки бетону власне ще немає, то зусилля попереднього натягу сприймають здебільшого тверді компоненти суміші (за технологією вода має можливість видалятися із суміші у разі обтиску). Таким чином, деформації стиснення компонентів бетонної суміші повною мірою відповідають зусиллю в арматурі. Всесвітній закон збереження енергії та закон Гука, звичайно, охоплюють і наведені конструкції з натягом арматури на бетонну суміш. Тут маємо справу з явищем переходу зовнішньої енергії обтиску у внутрішню енергію зв'язку у разі фазового переходу бетонної суміші до твердого стану.

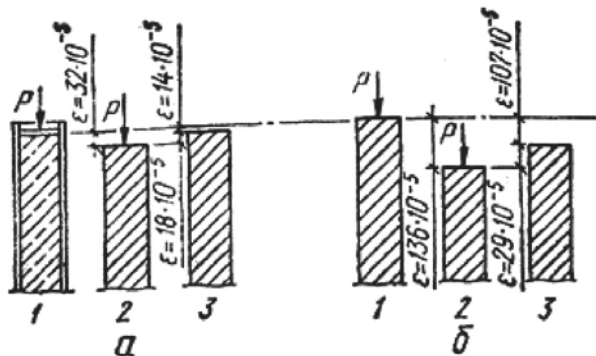


Рис. 1. Схема деформування зразків бетону, навантажених силою $P = 100$ кН у важелевих пристроях: а – за технологією на суміші; б – за технологією на упори; 1 – через півтори години після навантаження; 2 – після витримки під навантаженням протягом 28 діб; 3 – після розвантаження

Далі за технологією відбувається тверднення бетонної суміші і «народження» бетону як штучного кам'яного матеріалу. Як відомо, в'яжучий матеріал при цьому об'єднує компоненти в єдиний штучний матеріал. Оскільки тверді компоненти вже мали початкову напругу, то в напруженому стані вони й об'єднуються цементним каменем. До того часу, поки залізобетонний елемент знаходиться у формі, вплив попередньої напруги арматури суттєво не впливає на напружений стан цементного каменю. Після зняття форм з конструкції відбувається відоме явище розпресування. У бетонних елементах при цьому з'являються деформації і напруги розтягування в цементному камені. У залізобетонних конструкціях, виготовлених за наведеним способом, попередня напруга уздовж арматури стримує деформації розпресування. З практики деформації розпресування залежать від величини пресуючої сили і, як правило, не перевищують деформації усадки бетону.

На рис. 1 показано результати експериментальних досліджень деформативності бетону з центральним обтиском у режимі навантаження розроблених автором конструкцій і за традиційним способом на упори, моделювання виконувалося на зразках-призмах розмірами 10 x 10 x 40 см, завантажених у типових важелевих пристроях.

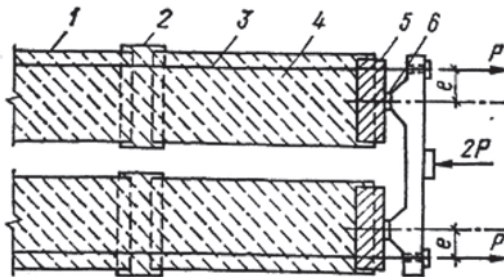


Рис. 2. Попереднє обтиснення залізобетонних конструкцій за способом «на суміш»:
1 – секції металевої форми; 2 – деформаційний шов; 3 – арматура;
4 – бетонна суміш; 5 – рухомий торець; 6 – силова траверса

Як видно з рис. 1, пружні деформації бетону в результаті попередньої напруги за запропонованим способом майже на 40 відсотків нижчі, ніж у традиційному варіанті. При цьому втрати попередньої напруги арматури, викликані процесами у бетоні, значно нижчі у способі «на суміш». Але, як з'ясовано вище, останнє не гарантує підвищення тріщиностійкості.

Виготовлення залізобетонних балок за способом на суміш передбачає центральний їх обтиск у формі у разі тверднення та позакентрове після зняття форми з готової конструкції (рис. 2). Якщо вважати, що початковий центральний обтиск компенсується внутрішніми зв'язками бетону після тверднення, а в подальшому деформаціями усадки, то першим членом відомої формули

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{A_{red}} + \frac{P \cdot e_{op}}{h_0} \cdot y - \frac{M}{W_{red}}; \quad (1)$$

з деяким наближенням можна знехтувати та прийняти $\frac{P}{A_{red}} = 0$

При $\sigma_{cp} = f_{ct,ser}$

$$M_{cr} = P \cdot e_{op} + f_{bt,ser} \cdot W_{red}; \quad (2)$$

де P – сила попереднього обтиснення; e_{op} – відстань від центру ваги приведенного перерізу до P ; $f_{ct,ser}$ – міцність обтисненого бетону на розтяг; W_{red} – момент опору приведенного перерізу з урахуванням арматури.

Формула (2) дає можливість порахувати момент появи тріщини M_{cr} для балок, у яких передбачено повну передачу сил попередньої напруги арматури на суміш.

За умовами нового способу є можливість підвищити тріщиностійкість передачею певної частини зусилля попереднього натягу арматури на бетон після його тверднення. Так би мовити ступінчаста передача попередньої напруги.

Якщо технологія передбачає два ступеня передачі сили попередньої напруги на суміш P_1 та на затверділий бетон P_2

$$N = \sum_{i=0}^n P_i = P_1 + P_2 ; \quad (1)$$

тоді момент тріщиноутворення буде

$$M_{cr} = P_1 \cdot e_{op} + P_2 \cdot (e_{op} + r) + f_{ct,ser} \cdot W_{red} ; \quad (3)$$

або

$$M_{cr} = e_{op} \cdot (P_1 + P_2) + P_2 \cdot r + f_{ct,ser} \cdot W_{red} ; \quad (4)$$

Підставляючи N , одержимо

$$M_{cr} = N \cdot e_{op} + P_2 \cdot r + f_{ct,ser} \cdot W_{red} ; \quad (5)$$

Формула (5) може використовуватись для знаходження моменту появи тріщини M_{cr} у балках з частковою передачею сил попередньої напруги на бетонну суміш.

Порівняння випадків за формулами (2) і (5) показує, що часткова передача сил попередньої напруги дозволяє підвищити тріщиностійкість балок на величину

$$\Delta M_{cr} = P_2 \cdot r$$

Слід мати на увазі, що характеристики бетону суттєво залежать від величини, тому у разі проектування конструкцій необхідно використовувати методи оптимізації.

Як і очікувалося, структурні зміни в обтисненому бетоні знайшли відображення в результатах випробування зразків. Стиснення призм механічним пресом високої жорсткості дозволило випробування провадити за заданими деформаціями для визначення відповідного навантаження. Було одержано дані залежності $\sigma - \epsilon$ навіть після максимуму діаграми. На зразок встановлювалося вісім механічних тензометрів, з яких чотири давали дані про поперечні деформації, а решта – про поздовжні. Прикладом УК-10ПМ в експерименті на кожному ступені навантаження реєстрували час проходження ультразвуку. Результати досліджень показано на рис. 3.

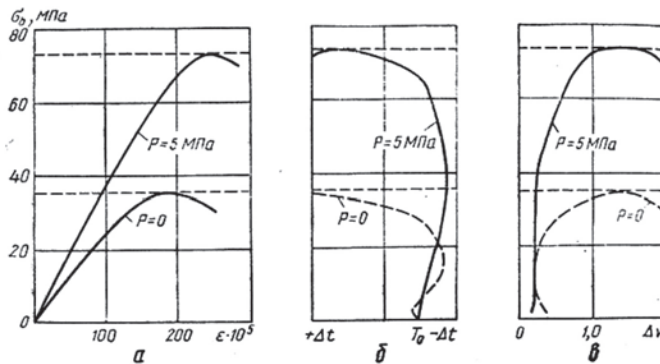


Рис. 3. Результати випробування бетонних призм:

а – залежність $\sigma - \epsilon$; б – крива зміни часу поширення ультразвукового імпульсу;

в – залежність $\sigma - \Delta t$. Суцільною лінією позначено призми з попередньо обтисненого, а пунктиром – зі звичайного бетону

На рис. 3, б крива зміни часу поширення ультразвукових імпульсів крізь бетонний зразок свідчить, що на початковій стадії навантаження у звичайному бетоні відбувається зменшення щільності стійких структур бетону, тоді як в обтисненому бетоні щільність наростає, що свідчить про більш однорідну і стійку структуру такого бетону. Наведені дані залежності диференційного коефіцієнта поперечної деформації $\Delta_v = \Delta\varepsilon_2/\Delta\varepsilon_1$ від навантаження (рис. 3, в) підтверджують структурні зміни в обтисненому бетоні і узгоджуються з даними графіка на рис. 3, б.

Діаграми $\sigma - \varepsilon$ на рис. 3, а для звичайного й обтисненого бетону одного складу можуть бути описані поліномами виду $\sigma_b = \sum K_i \varepsilon_i$, де у випадку стиснення досить п'ятого порядку. Коефіцієнти K_i в обтисненому бетоні залежать від величини тиску p , тому $K_i = f(p)$. Знаючи коефіцієнти поліному діаграми $\sigma - \varepsilon$, неважко знайти параметри: $f_c, f_{cu}, f_{ct}, E_b, E_{fc}, \varepsilon_{cu}$.

За наведеним способом виготовлення конструкцій обтиск бетонної суміші виконується за рахунок сил попереднього натягу арматури, тобто

$$p = \frac{P}{A_c} = \sum_{i=1}^n \sigma_{sp,i} \mu_{sp,i}; \quad (6)$$

де σ_{sp} – попереднє напруження i -го стержня, передане на суміш;

μ_{sp} – коефіцієнт армування.

Виходячи з цього, коефіцієнти полінома $\sigma_b = \sum K_i \varepsilon_i$, які описують діаграму $\sigma_c - \varepsilon_c$, залежать від величини напруги і кількості арматури

$$K_i = f\left(\sum_{i=1}^n \sigma_{sp,i} \mu_{sp,i}\right). \quad (7)$$

Таким чином, функціональний зв'язок параметрів бетону з передньою напругою у способі, який включає передачу сил передньої напруги на суміш, слід віднести до його особливості. Розрахунок величини підвищення міцності у наведених конструкціях може виконуватися за відомими залежностями [1; 7].

Висновки і пропозиції.

Попередньо напружені залізобетонні конструкції з передачею сил попередньої напруги на бетонну суміш можуть мати підвищену тріщиностійкість у разі часткової передачі сил попередньої напруги на суміш, більшу несучу здатність за рахунок структурних змін у обтисненому бетоні. Розрахунок таких конструкцій обов'язково повинен враховувати перехід зовнішньої енергії обтиску у внутрішню енергію зв'язку бетону у разі переходу його від суміші твердого стану, а також вплив сумарного зусилля напруги арматури на характеристики бетону. При цьому втрати попередньої напруги у самій арматурі враховують для уточнення параметрів конструкції.

Впровадження у виробництво залізобетонних конструкцій натягом арматури на бетонну суміш дозволяє підвищити їх міцність до 40–50% і за рахунок цього суттєво зменшити витрати будівельних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бабич С.М., Бабич В.С. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок: навчальний посібник. 2-ге видання, перероблене і доповнене. Рівне: НУВГП, 2017. С. 10–64.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения. Действителен от 2011-06-01. Киев, 2011. 71 с. (Государственные строительные нормы Украины).
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования. Действителен от 2011-06-01. Киев, 2011. 166 с. (Национальный стандарт Украины).

4. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82.
5. 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.
6. Способ изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий: А. с. 1747632 СССР, МКИ Е 04 G 21/12. / М.Г. Чеканович. № 1248389; заявл. 26.02.90; опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. 6 с.
7. Чеканович М.Г., Янін О.Є. Розрахунок будівельних конструкцій : навчальний посібник. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 57–77.

REFERENCES:

1. Babich, Ye.M., Babich, V.Ye. (2017). *Rozrakhunok i konstruyuvannya zalizobetonnikh balok* [Calculation and design of reinforced concrete beams]. Rivne. NUVGP. 10–64 [in Ukrainian].
2. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii 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. 71s. [in Russian].
3. DSTU B V.2.6-156:2010. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelogo betona. Pravila proektirovaniya (Gosudarstvennyi standart Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules (National standard of Ukraine)]. Kyiv. 166 s. [in Russian].
4. Eurocode 2: *Design of concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82 [in English].
5. 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].
6. Chekanovich, M.G. (1992). *Sposob izgotovleniya predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh izdelij (avtorskoye svidetel'stvo 1747632 SSSR, MKI E 04 G 21/12. № 1248389)* [Method for manufacturing prestressed concrete products (certificate of authorship 1747632 USSR, MKI E 04 G 21/12. № 1248389)]. Byul. No. 26. 6 s. [in Russian].
7. Chekanovych, M.H., Yanyin, O.Ye. (2021). *Rozrakhunok stroytel'nykh konstruksiy* [Calculation of building structures]. Kherson: OLDY-PLYUS. 57–77 [in Ukrainian].

УДК 624.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.21>

ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ УХИЛУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ БАЛКИ

Янін О.Є. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри будівництва, архітектури та дизайну
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-0230-8669

У статті наводиться рішення теоретичної задачі оптимізації ухилу залізобетонної балки та підбору оптимальної висоти на опорі. Розглядається однопролітна шарнірно обперта попередньо напружена двохсхила балка прямокутного поперечного перерізу, яка завантажена рівномірно розподіленим лінійним навантаженням.

Положення поперечного перерізу балки за довжиною характеризується змінною абсцисою. Висота балки на певній відстані від лівої опори розраховується у відповідності до певного ухилу. Робоча висота балки у цьому місці визначається у разі заданої відстані від нижньої розтягнутої грані балки до центру ваги розтягнутої попередньо напруженої арматури.

Умова міцності балки за нормальним перерізом у разі одиничного армування і рівняння рівноваги отримуються виходячи зі статичних залежностей. Несуча здатність перерізу на відомій відстані від лівої опори виражається через граничний згинальний момент, який являє собою лінійну функцію від координати уздовж прольоту.

На першому етапі рішення задачі визначається потрібна висота балки на опорі з умови міцності за заданих ухилів верхньої полиці і площі поперечного перерізу попередньо-напруженої арматури. Доводиться, що у разі доторкання графіків несучої здатності і згинального моменту від навантаження на балку міцність за нормальними перерізами забезпечена уздовж усього прольоту. На цій підставі робиться висновок, що робочу висоту балки на опорі можна визначити з рівнянь рівності моментів і їх перших похідних.

На другому етапі рішення задачі визначається ухил верхнього поясу, за якого об'єм бетону для балки буде найменшим. Оскільки площа поперечного перерізу поздовжньої арматури прийнята незмінною, досить мінімізувати тільки цей об'єм. Щоб дослідити функцію об'єму на екстремум знаходиться її перша похідна по ухилу та прирівнюється до нуля.

Задача оптимізації була розв'язана за певних контрольних вихідних даних. Був отриманий графік функції об'єму, який має мінімум у разі певного значення ухилу. Розроблена і наведена методика виконання перевірки на обмеження висоти стиснутої зони бетону за оптимального ухилу. У разі невиконання умови обмеження рекомендовано прийняти меншу площу поперечного перерізу попередньо-напруженої арматури. Доведено, що у такому разі збільшується висота балки і зменшуються відносна висота стиснутої зони та прогин.

Ключові слова: двохсхила балка, оптимізація, ухил, об'єм бетону, робоча висота, умова міцності.

Yanin O.E. The problem of slope optimization of the reinforced concrete prestressed beam

The solution of the theoretical problem of slope optimization of the reinforced concrete beam and selection of the optimal height on the support is given in the article. A single-span hinged prestressed double-sloped beam of rectangular cross-section, which is loaded with a uniformly distributed linear load, is considered.

The position of the cross section of the beam in length is characterized by a variable abscissa. The height of the beam at a certain distance from the left support is calculated in accordance with a certain slope. The working height of the beam in this place is determined at a given distance from the lower stretched face of the beam to the centre of gravity of the stretched pre-stressed reinforcement.

The condition of the strength of the beam in the normal cross section with a single reinforcement and the equilibrium equation are obtained based on static dependences. The bearing capacity of the section at a known distance from the left support is expressed in terms of the ultimate bending moment, which is a linear function of the coordinate along the span.

At the first stage of solving the problem, the required height of the beam on the support is determined from the condition of strength at a given slope of the upper shelf and the cross-sectional

area of the pre-stressed reinforcement. It is proved that when touching the graphs of bearing capacity and bending moment from the load on the beam, the strength of the normal cross-sections is provided along the entire span. On this basis, it is concluded that the working height of the beam on the support can be determined from the equations of equality of moments and their first derivatives.

In the second stage of solving the problem, the slope of the upper belt is determined, at which the volume of concrete for the beam will be the smallest. Since the cross-sectional area of the longitudinal reinforcement is assumed to be constant, it is sufficient to minimize only this volume. To investigate the function of volume at the extremum, there was found its first derivative of the slope and equated to zero.

The optimization problem was solved with certain control source data. A graph of the volume function was obtained, which has a minimum at a certain value of the slope. The technique of performance of check on restriction of height of a compressed zone of concrete at an optimum slope is developed and resulted. If the restriction condition is not met, it is recommended to take a smaller cross-sectional area of the pre-stressed reinforcement. It is proved that in this case the height of the beam increases and the relative height of the compressed zone and deflection decrease.

Key words: beam slope, optimization, slope, concrete volume, working height, strength condition.

Постановка проблеми. Рішення задач оптимізації будівельних конструкцій загалом і залізобетонних конструкцій зокрема є невід'ємним складником раціонального проєктування. Тому створення відповідних методів розрахунку відкриває можливість отримати певний економічний ефект.

Стан вивчення проблеми. Відомо, що проєктування залізобетонних конструкцій починається з визначення конструктивних розмірів і тільки після цього виконується підбір арматури. Такий підхід пов'язаний з урахуванням досвіду проєктування і не завжди дозволяє отримати економічне рішення.

Завдання і методика досліджень. За певних умов можна використати зворотний порядок проєктування, що дозволить мінімізувати витрати бетону у разі заданої площі поперечного перерізу арматури A_p . Такий підхід зводиться до підбору оптимальних висоти балки на опорі та ухилу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо однопролітну шарнірно обперту попередньо напружену двосхилу балку прямокутного поперечного перерізу, яка завантажена рівномірно розподіленим лінійним навантаженням q (рис. 1) [1–4].

Положення поперечного перерізу балки за довжиною будемо характеризувати абсцисою z . Змінна висота балки на відстані z від лівої опори

$$h_{(z)} = H + i \cdot z, \quad (1)$$

де H – висота балки на опорі;

i – ухил верхнього поясу балки.

Тоді робоча висота балки у цьому місці

$$d_{(z)} = H + i \cdot z - a = d_0 + i \cdot z, \quad (2)$$

де a – відстань від нижньої розтягнутої грані балки до центру ваги розтягнутої попередньо напруженої арматури A_p ;

d_0 – робоча висота балки на опорі;

$$d_0 = H - a. \quad (3)$$

Умова міцності балки за нормальним перерізом у разі одиничного армування і рівняння рівноваги прийняті на підставі статичних залежностей у разі змінної робочої висоти [5–7].

Тоді несуча здатність перерізу на відстані z лівої опори, що виражається через граничний згинальний момент

$$M_{u(z)} = f_{pd} A_p \left(d_0 + iz - 0,5 \frac{f_{pd} A_p}{f_{cd} b} \right). \quad (4)$$

Цей момент являє собою лінійну функцію від z .

На першому етапі рішення задачі треба знайти потрібну з умови міцності робочу висоту балки на опорі d_0 за заданих i і A_p .

Функція згинального моменту від навантаження на балку

$$M_{(z)} = \frac{1}{2} qz(L - z) = \frac{1}{2} qLz - \frac{1}{2} qz^2. \quad (5)$$

Графік цієї функції має вигляд увігнутої квадратної параболи за осі ординат, направленої вниз. Тому якщо графік прямої $M_{u(z)}$ торкається параболи $M_{(z)}$, як показано на рис. 1, то уздовж усього прольоту балки буде забезпечена міцність за нормальними перерізами:

$$M_{(z)} = M_{u(z)}. \quad (6)$$

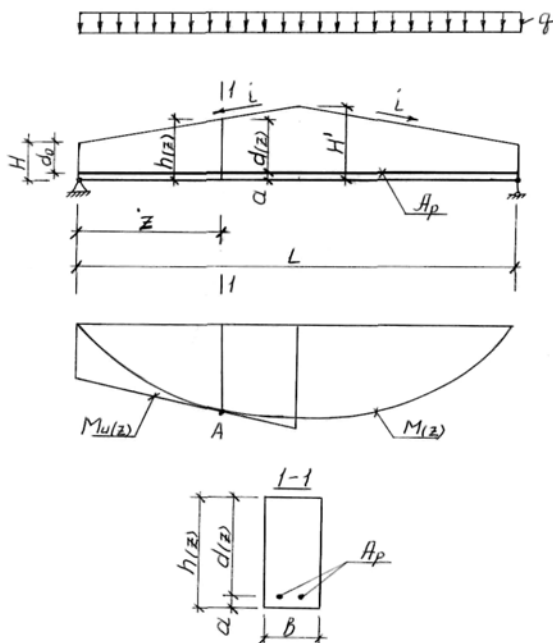


Рис. 1. Розрахункова схема балки

У такому разі робочу висоту балки на опорі d_0 треба визначати на підставі рішення наступної системи двох рівнянь

$$M_{(z)} = M_{u(z)}; \quad (7)$$

$$\frac{dM_{(z)}}{dz} = \frac{dM_{u(z)}}{dz}. \quad (8)$$

Окрім d_0 , невідомою величиною буде також відстань уздовж горизонталі від лівої опори до точки доторкання $z = z_{on}$.

Після підстановки $M_{u(z)}$ і $M_{(z)}$, згідно з формулами (4) і (5) у вирази (7) і (8), зазначена система рівнянь прийме вигляд:

$$\frac{1}{2} qz(L - z) = f_{pd} A_p \left(d_0 + iz - 0,5 \frac{f_{pd} A_p}{f_{cd} b} \right); \quad (9)$$

$$\frac{1}{2} qL - qz = f_{pd} A_p i. \quad (10)$$

З останнього рівняння:

$$z = z_{on} = \frac{L}{2} - \frac{f_{pd} A_p i}{q}. \quad (11)$$

Після підстановки $z = z_{on}$ з виразу (11) у рівняння (9) отримаємо

$$d_0 = \frac{qL^2}{8f_{pd} A_p} - \frac{iL}{2} + \frac{f_{pd} A_p i^2}{2q} + \frac{f_{pd} A_p}{2f_{cd} b}. \quad (12)$$

З урахуванням формули (3) висота балки на опорі

$$H = \frac{qL^2}{8f_{pd} A_p} - \frac{iL}{2} + \frac{f_{pd} A_p i^2}{2q} + \frac{f_{pd} A_p}{2f_{cd} b} + a. \quad (13)$$

На другому етапі рішення задачі визначається ухил верхнього поясу, за якого об'єм бетону для балки V_b буде найменшим. Оскільки площа поперечного перерізу поздовжньої арматури A_p прийнята незмінною, досить мінімізувати тільки V_b . Цільова функція об'єму бетону має вигляд

$$V_b = \frac{H + H'}{2} Lb = HLb + \frac{iL^2 b}{4}, \quad (14)$$

де H' – висота балки посередині прольоту (див. рис. 1)

$$H' = H + i \frac{L}{2}. \quad (15)$$

Після підстановки H з формули (13) у вираз (14) отримаємо

$$V_b = \left[\frac{qL^2}{8f_{pd} A_p} - \frac{iL}{2} + \frac{f_{pd} A_p i^2}{2q} + \frac{f_{pd} A_p}{2f_{cd} b} + a \right] Lb + \frac{iL^2 b}{4}. \quad (16)$$

Щоб дослідити функцію $V_b = V_{b(i)}$ на екстремум треба знайти її першу похідну по i та прирівняти отриманий вираз нулю [8–9]:

$$\frac{dV_b}{di} = \left[-\frac{L}{2} + \frac{f_{pd} A_p i}{q} \right] Lb + \frac{L^2 b}{4} = -\frac{L^2 b}{4} + \frac{Lb f_{pd} A_p i}{q} = 0. \quad (17)$$

Звідси

$$i = i_{onm} = \frac{qL}{4 f_{pd} A_p}. \quad (18)$$

Оскільки друга похідна функції $V_{b(i)}$ по i $\frac{d^2 V_b}{di^2} = \frac{Lb f_{pd} A_p}{q} > 0$, при $i = i_{onm}$ об'єм бетону для балки буде мінімальним.

Задача оптимізації була розв'язана за таких контрольних вихідних даних:

$$q = 0,40 \text{ кН/см} = 40 \text{ кН/м}; \quad L = 1800 \text{ см} = 18 \text{ м}; \quad b = 20 \text{ см}; \quad f_{pd} = 680 \text{ МПа} = 68 \text{ кН/см}^2; \\ f_{cd} = 17 \text{ МПа} = 1,7 \text{ кН/см}^2; \quad A_p = 20 \text{ см}^2.$$

Був отриманий графік функції $V_{b(i)}$, який має мінімум при $i = 0,1323529$ (рис. 2). Таке саме значення було отримане за формулою (18).

При цьому висота балки на опорі становила $H = 58,779$ см.

У елемента, що працює на згин, висота стиснутої зони бетону повинна бути обмеженою. Тому після визначення i_{opt} треба впевнитись, що уздовж прольоту відносна висота стиснутої зони

$$\xi = x/d \leq \xi_R, \quad (19)$$

де ξ_R – гранична відносна висота стиснутої зони бетону.

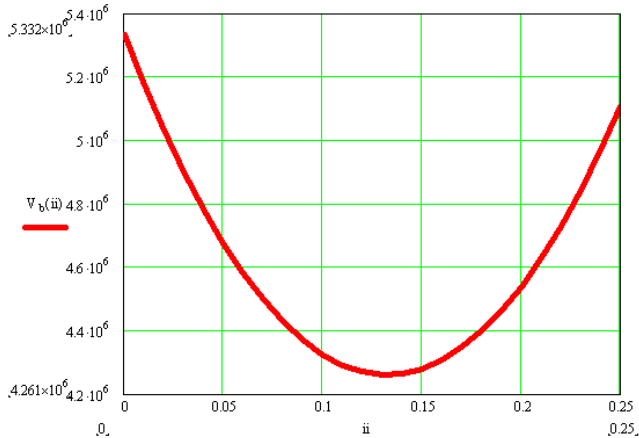


Рис. 2. Графік функції $V_{b(i)}$

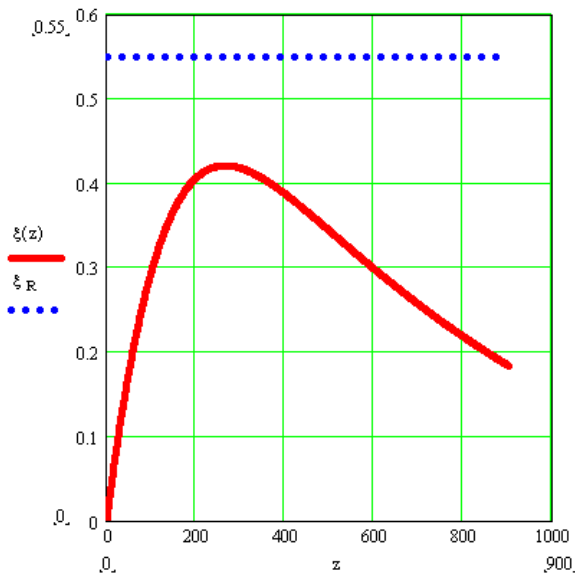


Рис. 3. Графік функції $\xi(z)$

Щоб знайти ξ на будь-якій відстані z від лівої опори, треба послідовно розрахувати такі функції:

$$d_{(z)} = H + i \cdot z - a = d_0 + i \cdot z, \quad (20)$$

$$A_{0(z)} = \frac{M_{(z)}}{f_{cd} b d_{(z)}^2}, \quad (21)$$

$$\xi_{(z)} = 1 - \sqrt{1 - 2A_{0(z)}}. \quad (22)$$

Графік останньої функції на лівій половині довжини прольоту за контрольних вихідних даних і $\xi_R = 0,55$ наведений на рис. 3.

Висновки та пропозиції.

Із графіка видно, що у будь-якій точці прольоту виконується умова $\xi_{(z)} < \xi_R$. У разі, коли ця умова не виконується або не забезпечена жорсткість балки, треба прийняти меншу площу поперечного

перерізу арматури A_p . Тоді збільшиться висота балки і відповідно зменшаться ξ та її прогин. У подальших дослідженнях доцільно розглянути оптимізацію ухилу балки двотаврового поперечного перерізу, оскільки вона є більш економічною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ. 2011. 71 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ. 2011. 118 с.
3. ДСТУ Б В.1.2-3 2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ. 2006. 10 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ. 2006. 78 с.
5. Вахненко П.Ф. Залізобетонні конструкції. Київ : Урожай. 1995. 368 с.
6. Мандриков А.П. Примеры расчета железобетонных конструкций : учебное пособие для техникумов. Москва : Стройиздат. 1989. 506 с.
7. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс : учебник для вузов. Москва : Стройиздат, 1991. 767 с.
8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов. Москва : Физматгиз. 1963. 856 с.
9. Смирнов А.Ф. Соппротивление материалов : Учебник для вузов. Москва : Высшая школа. 1975. 480 с.

REFERENCES:

1. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Bettonni ta zalizobettonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy* [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine]. Kyiv, 71 s. [in Ukrainian].
2. DSTUB V.2.6-156:2010. (2011). *Bettonni ta zalizobettonni konstruktsiyi z vazhkoho betonu. Pravyly proektuvannya. Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine]. Kyiv, 118 s. [in Ukrainian].
3. DSTU B V.1.2-3 2006. (2006). *Prohyny ta peremishchennya. Vymohy proektuvannya. Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy* [Deflections and displacements. Design requirements. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine]. Kyiv, 10 s. [in Ukrainian].
4. DBN V.1.2-2:2006. (2006). *Navantazhennya ta vplyvy. Normy proektuvannya. Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy* [Loads and effects. Design standards. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine]. Kyiv, 78 s. [in Ukrainian].
5. Vakhnenko, P.F. (1995). *Zalizobettonni konstruktsiyi* [Reinforced concrete structures]. Kyiv, Urozhay. 368 s. [in Ukrainian].
6. Mandrykov, A.P. (1989). *Prymery rascheta zhelezobetonnykh konstruktsyy* [Examples of the calculation of reinforced concrete structures]. *Uchebnoe posobyie dlya tekhnikumov* [Textbook for technical schools]. Moskva, Stroyizdat, 506 s. [in Russian].

7. Baykov, V.N., Sigalov E.Ye. (1991). *Zhelezobetonnyye konstruksii: Obshchiy kurs: Uchebnik dlya vuzov* [Reinforced concrete structures: General course: A textbook for universities]. Moskva: Stroyizdat, 767 s. [in Russian].
 8. Pyskunov, N.S. (1963). *Dyfferentsyal'noe yntehral'noe yschyslenyya dlya vtuzov* [Differential and integral calculus for technical colleges]. Moskva, Fyzmathyz, 856 s. [in Russian].
 9. Smyrnov, A.F. (1975). *Soprotyvlenye materyalov* [Strength of materials]. Uchebnyk dlya vuzov [Textbook for universities]. Moskva: Vysshaya shkola [High school], 480 s. [in Russian].
-

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 621.643

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.22>

РАЦІОНАЛЬНІ РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ОБСЯГУ ТРАНЗИТУ ГАЗУ

Чернова О.Т. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0002-6424-7569

Грудз В.Я. – доктор технічних наук,
професор кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0003-1182-2512

Гершун Б.І. – аспірант кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0001-9353-5327

Оптимізація режимів роботи газотранспортної системи в умовах її роботи з неповним завантаженням має свої особливі підходи і принципи їх реалізації. Особливості процедури оптимізації стосуються насамперед розширення сфери допустимих режимів і відповідно вибору технологічних схем і обладнання газотранспортної системи, адже у разі суттєвого зменшення продуктивності експлуатація можлива за зменшення числа працюючих компресорних станцій чи кількості працюючих газоперекачувальних агрегатів на кожній з них. В умовах неповного завантаження газотранспортної системи суттєве зниження продуктивності (порівняно з пропускною здатністю) призводить до розширення діапазону зміни максимального і мінімального тисків. Гранічними варіантами допустимих режимів слід вважати такі: максимальний, що характеризується максимальним значенням тиску на початку лінійної ділянки, і мінімальний, що характеризується мінімальними значенням тиску в кінці лінійної ділянки. Множина всіх решти допустимих режимів перебуває в діапазоні між вказаними граничними. Слід зауважити, що в умовах неповного завантаження газотранспортної системи єдиними критеріями оптимальності режимів роботи можуть служити мінімум енергозатрат на транспортування газу і максимум надійності газопроводу. Керуючись першим з цих критеріїв, можна вибрати принцип оптимізації режимів з вказаної множини допустимих. Другий критерій встановлює оптимальні принципи обслуговування технологічного обладнання та газопроводів газотранспортного комплексу. З метою їх практичної реалізації необхідно виробити стратегічні напрями і методи оптимізації режимів і обслуговування газотранспортної системи в умовах неповного завантаження.

Ключові слова: трубопровідний транспорт, експлуатація, технологічні схеми, оптимізація режимів роботи, компресорні станції.

Chernova O. T., Hrudz V. Ya., Hershun B. I. Optimization of gas transmission systems regimes in the conditions of their uncomplete loading

Optimization of operating modes of the gas transmission system in the condition when it works with partial loading has the special approaches and principles of their realization. Features of the optimization procedure relate primarily to expanding the range of permissible modes and choice of technological schemes and equipment of the gas transmission system as with a significant reduction in productivity operation is possible by reducing the number of operating compressor stations or the number of operating gas pumping units. In the conditions of incomplete loading of gas transmission system essential decrease in productivity in comparison with throughput leads to expansion of range of change of the maximum and minimum pressures. The following should be considered as limit variants of admissible modes: the maximum – characterized by the maximum value of the pressure at the beginning of the linear section, and the minimum – characterized by the minimum value of the pressure at the end of the linear section. The set of all other valid modes is in the range between the specified limits. It should be noted that in the conditions of incomplete loading of the gas transmission system, the only criteria for the optimality of operating modes can be the minimum energy consumption for gas transportation and the maximum reliability of the pipeline. Guided by the first of these criteria, you can choose the principle of optimization of modes from the specified set of valid. The second criterion establishes the optimal principles of maintenance of technological equipment and gas pipelines of the gas transmission complex. For the purpose of their practical realization it is necessary to develop strategic directions and methods of optimization of modes and service of gas transmission system in the conditions of incomplete loading.

Key words: pipeline transport, operation, technological schemes, optimization of operating modes, compressor stations.

Оптимізація режимів роботи газотранспортної системи в умовах неповного завантаження вимагає насамперед мінімізації енерговитрат на транспортування газу. Враховуючи енергетичні характеристики природного газу як енергоносія, критерій енергоефективності можна виразити в обсягах газу, затрачених на його транспортування. До таких затрат газу слід віднести паливний газ, який витрачається на компресорних станціях для приводу газоперекачувальних агрегатів і обсяг якого залежить від режиму роботи ГПА, та технологічний газ, що знаходиться безпосередньо в трубопроводах для підтримання тиску, необхідного для нормальної роботи КС, обсяг якого також залежить від режиму роботи системи. Тому врахування витрати газу за різних експлуатаційних режимів, у тому числі вартості паливного та технологічного газу, є одним з економічних показників експлуатаційного режиму з енергетичної точки зору.

Газотранспортна система здебільшого має складну геометричну структуру: багатьох ниток, з'єднаних перемичками; лупінги; складні за структурою відгалуження до споживачів. Енергетичними об'єктами є компресорні станції (КС), які мають цехи з різними типами ГПА з різними характеристиками. Тому можна розглядати їх роботу за типами працюючих ГПА, за схемою їх спільної роботи, а також за режимами роботи кожного агрегату. Це зумовлює багатоваріантність режимів роботи та широке коло для оптимізації.

Наукові розробки для розрахунку складних газопроводів [13; 14; 15] присвячені стаціонарним режимам транспортування газу. Якщо використовувати теорію складних систем [3], то можна розраховувати режими магістральних газопроводів практично будь-якої конфігурації без значного збільшення обсягів розрахунків. Проблеми визначення фактичних гідродинамічних параметрів газопроводів із урахуванням теплофізичних властивостей газів мають місце в [2; 7]. Праці з цього питання ґрунтуються тільки на стаціонарних режимах або нестаціонарних процесах без обліку змінності властивостей середовища [12; 16]. Використання методик цих досліджень для розрахунку систем магістрального транспорту газу може призвести до неприпустимих помилок. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці

простих і водночас досить точних методів ідентифікації параметрів газотранспортної мережі.

Більшість наукових праць присвячено в основному стаціонарним режимам транспортування газу. Сучасні умови експлуатації вимагають нового підходу. Важливою проблемою залишається визначення фактичних гідродинамічних параметрів газопроводів з урахуванням теплофізичних властивостей газів та зміною властивостей середовища.

Виникає потреба в розв'язанні задачі досить загального характеру, а саме: створення методів розрахунку неусталених неізотермічних режимів транспортування газу складними взаємопов'язаними газотранспортними магістралями з використанням підземних газосховищ. Виходячи з практики роботи складної газотранспортної системи, слід проводити облік зміни параметрів трубопровідних систем і транспортованого газу в часі та просторі залежно від зміни граничних умов і неізотермічності перекачки газу. Це значно ускладнює розрахунки процесів гідравліки та теплообміну в газотранспортних системах.

Якщо газотранспортна система складається з декількох паралельних ниток, то в умовах неповного завантаження системи розподіл газопотоків між нитками буде нерівномірним, що вимагає розрахунку оптимального завантаження кожної з паралельних ниток. Розрахунок ведеться методом ітерацій за відомої величини абсолютної похибки у визначенні сумарної витрати газу та витрати в кожній з паралельних ниток δQ . В основу розрахунку покладено модель стаціонарного руху газу в трубах, зокрема основне рівняння газопроводів.

Знаючи кількість працюючих компресорних станцій на кожній з паралельних ниток газотранспортної системи, тиски і температури на вході і виході кожної з них і їх продуктивність за такого режиму, можна визначити витрату паливного газу по кожній КС і системі загалом за однією з відомих методик [11; 21].

Для розрахунку запасів газу в трубах використовується інформація, що отримана у разі реалізації задачі про розподіл витрати газу між паралельними нитками складної газотранспортної системи. Вихідна інформація для кожної ділянки задається у вигляді:

- абсолютних значень тисків газу на початку P_{Hi} і в кінці P_{Bi+1} ділянки (ата);
- абсолютних температур газу на початку T_{Hi} і в кінці T_{Bi+1} ділянки (К);
- геометричних характеристик лінійних ділянок: внутрішній діаметр d_i (мм) і довжина L_i (км) ділянки;
- геометричних характеристик обв'язки КС: геометричний об'єм трубопроводів і обладнання на низькій стороні V_{Bi} та геометричний об'єм трубопроводів і обладнання на високій стороні V_{Hi} (M^3);
- відносної густини \varnothing ;
- середніх значень тисків P_{cpi} і температур газу T_{cpi} , а також коефіцієнта стисливості Z_{cpi} як результатів реалізації задачі.

Кількість газу в кожній з паралельних ниток газотранспортної системи на кожній з ділянок між компресорними станціями з номерами i та $i+1$ знаходиться за стандартних умов ($P_c=1$ ата, $T_c=293$ К) з формули:

$$W_{ij} = \frac{\pi d_{ij}^2}{4} L_i \frac{P_{cpi}}{P_c} \frac{T_c}{T_{cpi}} \frac{1}{Z_{cpi}}$$

Сумарний об'єм газу в лінійній частині газотранспортної системи

$$W_{ли} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k W_{ij}$$

де k – кількість лінійних ділянок.

Кількість газу в обв'язці кожної з компресорних станцій
– на низькій стороні

$$W_{Bj} = V_{\text{geom}B} \frac{P_{Bi}}{P_c} \frac{T_c}{T_{Bi}} \frac{1}{Z_{Bi}}$$

– на високій стороні

$$W_{Hj} = V_{\text{geom}H} \frac{P_{Hi}}{P_c} \frac{T_c}{T_{Hi}} \frac{1}{Z_{Hi}}$$

Сумарна кількість газу в обв'язках КС

$$W_{KC} = \sum_{j=1}^k (W_{Bj} + W_{Hj})$$

Витрата паливного газу визначається за потужністю працюючих газоперекачувальних агрегатів на КС і нормами витрати палива на одиницю потужності.

$$Q_{\text{ПГ}} = Q_{\text{ПГ}} \tau = N_{KC} q_{\text{нор}} \tau$$

де: $Q_{\text{ПГ}}$ – витрата паливного газу протягом часу експлуатації τ ; N_{KC} – ефективна потужність ГПА; $q_{\text{нор}}$ – норма витрати паливного газу на одиницю потужності для такого типу ГПА.

Індикаторна зведена потужність ГПА

$$\left[\frac{N_i}{\rho_B} \right]_3 = c_0 + c_1 (Q_B / \bar{n}) + c_2 (Q_B / \bar{n})^2$$

де: Q_B – об'ємна продуктивність ГПА за умов входу; \bar{n} – відносні оберти ротора; – апроксимаційні коефіцієнти.

c_i – Ефективна потужність працюючих ГПА на КС

$$N_{KC} = \sum_{j=1}^n (N_{ij} + \Delta N_{Mj})$$

де: N_{ij} – індикаторна потужність ГПА для КС з номером j

$$N_{ij} = \left[\frac{N_i}{\rho_B} \right]_{3j} \rho_B \bar{n}^3$$

ρ_{Bj} – густина газу за умов входу в ГПА

$$\rho_{Bj} = \frac{P_{Bj}}{z_{Bj} R T_{Bj}}$$

P_{Bj} , T_{Bj} – тиск і температура на вході ГПА J -тої КС.

Сумуючи витрати паливного та технологічного газу для кожного з конкуруючих режимів експлуатації газотранспортної системи в умовах неповного завантаження, отримаємо критерій, який характеризує такий режим з точки зору його енергоефективності. Мінімальні витрати паливного і технологічного газу відповідатимуть оптимальному режиму експлуатації газотранспортної системи в умовах неповного завантаження.

Запропонований принцип оптимізації режимів реалізований методом конкуруючих варіантів, які відрізняються максимальними робочими тисками, для оптимізації режимів газопроводу СОЮЗ за заданої продуктивності. Результати процедури у вигляді графіків наведено на рисунках 1, 2.

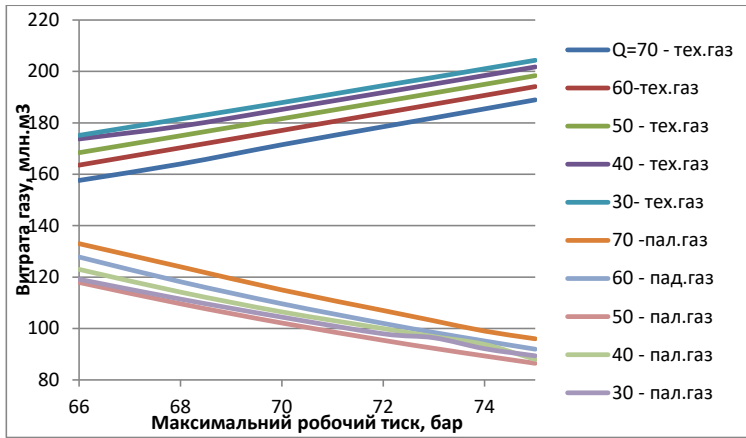


Рис. 1. Витрати паливного і технологічного газу залежно від робочого тиску за різних ступенів завантаження газопроводу СОІЮЗ

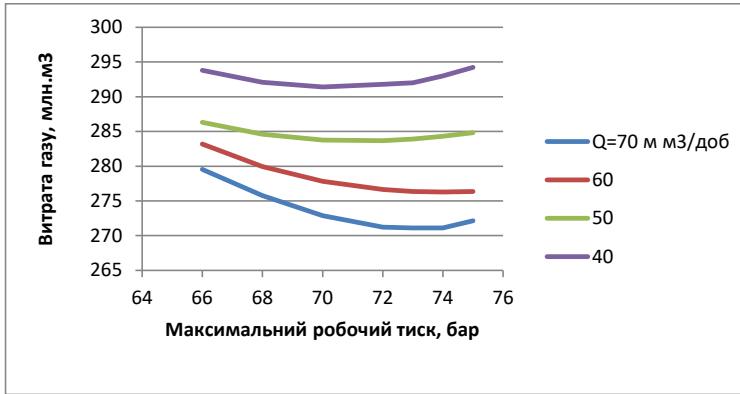


Рис. 2. Залежність сумарних витрат газу від робочого тиску за різних ступенів завантаження газопроводу СОІЮЗ

Аналіз отриманих залежностей дає підстави стверджувати, що наявне оптимальне значення робочого тиску на виході КС, якому відповідає мінімум енерговитрат на транспортування газу. Збільшення кількості технологічного газу в трубах призводить до зростання робочих тисків, а, значить, до зменшення енергетичних витрат під час транспортування, отже, до зменшення витрати паливного газу. Тому за оптимального режиму сума витрат паливного і технологічного газу має мінімум.

Запропоновані методи базуються на використанні стохастичних математичних моделей з використанням як вихідної інформації передісторії експлуатації газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях, для їх реалізації необхідно оцінити реальний технічний стан кожного ГПА і прогнозувати його залишковий ресурс та ймовірність безвідмовної роботи.

Проведені розрахунки даватимуть змогу прийняття конкретних техніко-економічних рішень, які стосуються характеру подальшого обслуговування обладнання компресорних станцій, вибору стратегій контролю параметрів технічного стану, планування профілактичних ремонтів або заміни газоперекачувальних агрегатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Говдяк Р.М., Семчук Я.М., Чабанович Л.Б. та ін. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів. Івано-Франківськ : Лілея НВ, 2007. 554 с.
2. Грудз В.Я., Грудз В.Я. (молодший). Детерміновані методи оптимізації експлуатаційних режимів газотранспортних систем. *Прикарпатський вісник НТШ*. 2017. № 2(38). С. 236–246.
3. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Костів В.В. та ін. Технічна діагностика трубопровідних систем. Івано-Франківськ : Лілея-НВ. 2012. 512 с.
4. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Слободян В.І. Енергетична ефективність використання високопотужних газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях багатоніткових систем. *Нафтогазова енергетика*. 2010. № 2. С. 30–33.
5. Грудз Я.В. Оптимізація режимів роботи газопроводу з урахуванням енерговитратності транспорту газу. *Нафтогазова енергетика*. № 2. 2012. С. 12–15.
6. Грудз В.Я., Середюк М.Д. Оптимізація режимів роботи газонафтогазотранспортних систем України в умовах їх неповного завантаження. *Тези доповіді в комітеті з енергозбереження Верховної Ради*. 2015.
7. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Слободян В.І. та ін. Дослідження енергетичного стану складних газотранспортних систем. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів для галузі»*. Івано-Франківськ. 2010. С. 9–12.
8. Крижанівський Є.І., Грудз В.Я., Грудз В.Я. (молодший), Терещенко Р.В. Оптимізація режимів компресорних станцій за умови їх неповного завантаження. *Нафтогазова енергетика*. 2017. № 1(27). С. 65–69.
9. Grudz V.Ya., Grudz V.Ya. (junior), Zapukhlyak V.B., Kuzymyshyn Ya.V. Non-stationary processes in the gas transmission systems at compressor stations shut-down. *Journal of hydrocarbon power engineering*. 2018. № 1(5). P. 22–28.
10. Filipchuk V., Grudz V., Marushchenko V., Myndiuk M., Savchuk M. Development of cleaning methods complex of industrial gas pipelines based on the analysis of their hydraulic efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. № 2/8 (92). 2018.
11. Energy Charter Secretariat. Gas Transit Tariffs in selected Energy Charter Treaty Countries. January 2006. 86 p. URL: www.encharter.org.
12. Чернова О.Т. Газотранспортна система України: модернізація та переоснащення. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. № 1 (38). 2015. С. 77–83.
13. Halyna Zelinska, Irina Fedorovyc, Uliana Andrusiv, Oksana Chernova, Halyna Kupalova. Modeling of the Gas Transmission Reliability as a Component of Economical Security of Ukrainian Gas Transmission System. *Machine Learning for Prediction of Emergent Economy Dynamics : Proceedings of the Selected Papers of the Special Edition of International Conference on Monitoring, Modeling & Management of Emergent Economy (M3E2-MLPEED 2020)*, Odessa, Ukraine July 13–18, 2020. / Arnold Kiv (Ed.) st. 415–433.
14. Мартинюк Р.Т., Чернова О.Т., Шиян М.Р. Аналіз методів і засобів визначення фактичного стану нафтогазопроводів та розрахунок їх залишкового ресурсу. *Прикарпатський вісник НТШ. Івано-Франківський осередок наукового товариства ім. Шевченка*. № 1 (59). 2020. С. 134–142.

REFERENCES:

1. Govdyak, R.M, Semchuk, Y.M, Chabanovich, L.B and others. (2007). *Energhoekologichna bezpeka naftogazovykh ob'ektiv* [Energy and environmental safety of oil and gas facilities]. Ivano-Frankivsk: Lileya-NV, p. 554 [in Ukrainian]
2. Grudz, V.Ya., Grudz, V.Ya. (Junior). (2017). *Determinovani metody optymizaciji ekspluatacijnykh rezhymiv ghazotransportnykh system* [Deterministic methods of

optimization of operational modes of gas transmission systems]. *Prykarpattya Bulletin of the NTSh. Numeric.* No. 2 (38), pp. 236–246.

3. Grudz, V.Ya., Grudz, Ya.V., Kostiv, V.V. and others (2012). *Tekhnichna diagnostyka truboprovodnykh system* [Technical diagnostics of pipeline systems]. Ivano-Frankivsk: Lileya-NV, p. 512 [in Ukrainian].

4. Grudz, V.Ya., Grudz, Ya.V., Slobodyan, V.I. (2010). Energhetychna efektyvnist vykorystannja vysokopotuzhnykh ghazoperekachuvaljnykh aghreghativ na kompresornykh stancijakh baghatonytkovykh system [Energy efficiency of high-power gas pumping units at compressor stations of multi-threaded systems]. *Oil and gas energy.* No. 2, pp. 30–33.

5. Grudz, J.V. (2012). Optyimizacija rezhymiv roboty ghazoprovodu z urakhuvannjam energhovytratnosti transportu ghazu [Optimization of gas pipeline modes taking into account the energy consumption of gas transport]. *Oil and gas energy.* No. 2. Pp. 12–15.

6. Grudz, V.Ya., Seredyuk, M.D. (2015). Optyimizacija rezhymiv roboty ghazonaftotransportnykh system Ukrainy v umovakh jikh nepovnogho zavantazhennja [Optimization of operating modes of gas and oil transportation systems of Ukraine in the conditions of their incomplete loading]. *Abstracts of the report in the Committee on Energy Conservation of the Verkhovna Rada, Ukraine: Kyiv.*

7. Grudz, V.Ya., Grudz, Ya.V., Slobodyan, V.I. and others (2010). Research of energy condition of complex gas transmission systems. *Materials of the All-Ukrainian scientific-practical conference “Ways to increase the efficiency of oil and gas pipeline transport and training for the industry”.* Ukraine: Ivano-Frankivsk, pp. 9–12.

8. Kryzhanivsky, E.I., Grudz, V.Ya., Grudz, V.Ya. (Junior), Tereshchenko R.V. (2017). Optyimizacija rezhymiv kompresornykh stancij za umovy jikh nepovnogho zavantazhennja [Optimization of compressor station modes under condition of their incomplete loading]. *Oil and gas energy.* No. 1 (27), pp. 65–69.

9. Grudz V.Ya., Grudz V.Ya. (junior), Zapukhlyak V.B., Kyzymyshyn Ya.V. Non-stationary processes in the gas transmission systems at compressor stations shut-down. *Journal of hydrocarbon power engineering.* 2018. No. 1 (5). P. 22–28.

10. Filipchuk, V., Grudz, V., Marushchenko, V., Myndiuk, M., Savchuk, M. Development of cleaning methods complex of industrial gas pipelines based on the analysis of their hydraulic efficiency *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* ISSN 1729-3774. No. 2/8 (92). 2018.

11. Energy Charter Secretariat. Gas Transit Tariffs in selected Energy *Charter Treaty Countries.* January 2006. 86 p. Retrieved from: www.encharter.org.

12. Chernova, O.T. (2015). Ghazotransportna systema Ukrainy: modernizacija ta pereosnashhennja [Gas transportation system of Ukraine: modernization and re-equipment]. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.* No. 1 (38), pp. 77–83.

13. Halyna Zelinska, Irina Fedorovyc, Uliana Andrusiv, Oksana Chernova, Halyna Kupalova. Modeling of the Gas Transmission Reliability as a Component of Economic Security of the Ukrainian Gas Transmission System. *Machine Learning for Prediction of Emergent Economy Dynamics Proceedings of the Selected Papers of the Special Edition of the International Conference on Monitoring, Modeling & Management of Emergent Economy (M3E2-MLPEED 2020),* Odessa, Ukraine July 13–18, 2020. Arnold Kiv, st. 415–433.

14. Martinyuk, R.T., Chernova, O.T., Shiyan, M.R. (2020). Analiz metodiv i zasobiv vyznachennja faktychnogho stanu naftoghazoprovodiv ta rozrakhunok jikh zalyshkovogho resursu [Analysis of methods and means of determining the actual condition of oil and gas pipelines and calculation of their residual life]. *Pre-Carpathian Bulletin of the NTSh. Ivano-Frankivsk branch of the scientific society named after Shevchenko.* No.1 (59), pp.134–142.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Арутюнян Т.В.	76	Морозова О.С.	163
Бишовець Л.Г.	96	Морозов В.В.	163
Богдан Г.А.	47	Морозов О.В.	163
Вакалюк Т.А.	36	Муравйов О.В.	47
Гайдай Г.Ю.	3	Наконечная А.В.	47
Гайдукевич С.В.	12	Огір О.О.	54
Гершун Б.І.	195	Петрик В.Ф.	47
Голубець О.В.	76	Пилипчук О.С.	104
Гордієнко І.В.	36	Приліпко Т.М.	113
Грешнов А.Ю.	3	Ряполова І.О.	125
Грудз В.Я.	195	Семенова Н.П.	12
Губа С.О.	135	Сиваш С.Б.	175
Дзюба Н.А.	86	Синенко Т.П.	135
Зинов'єва О.Г.	69	Соколенко В.В.	135
Зубрицький В.В.	36	Соколовська Г.В.	175
Іванюта А.О.	104	Тимченко В.К.	76
Івашина Л.Л.	96	Федорів В.М.	113
Козленко Є.В.	163	Фролова Н.Е.	135
Коротун О.В.	36	Чайковський С.Ю.	63
Косташ В.Б.	113	Чеканович М.Г.	181
Левчук І.В.	76	Чернова О.Т.	195
Леськів Я.А.	12	Шаров С.В.	69
Лисенко Ю.Ю.	47	Янін О.Є.	188
Лубко Д.В.	69	Zhuravlov Yu.I.	22
Менчинська А.А.	104		

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	3
Гайдай Г.Ю., Грєшнов А.Ю. Автоматизована комп'ютерна система для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі.....	3
Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Лєськів Я.А. Особливості smart-технологій на прикладі автоматизації житлового будинку.....	12
Zhuravlov Yu.I. Thermal regime control of thermoelectric coolers in an uniform temperature field.....	22
Коротун О.В., Вакалюк Т.А., Зубрицький В.В., Гордієнко І.В. Теоретичні аспекти розробки системи управління навчанням.....	36
Муравйов О.В., Петрик В.Ф., Лисенко Ю.Ю., Богдан Г.А., Наконечная А.В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини..	47
Огір О.О. Принципи діагностичної візуалізації об'єкта або середовища.....	54
Чайковський С.Ю. Алгоритми проведення випробувань технічних засобів в акредитованих лабораторіях у разі застосування механічного та кліматичного видів впливу: практика та інновації.....	63
Шаров С.В., Лубко Д.В., Зинов'єва О.Г. Використання інтелектуальних систем у туристичному бізнесі.....	69
ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ	76
Лєвчук І.В., Голубець О.В., Тимченко В.К., Арутюнян Т.В. Науково-практичні аспекти розробки експрес-методу визначення цис- та транс-ізомерів	76
Дзюба Н.А. Визначення фармакологічних властивостей гідролізату колегена	86
Івашина Л.Л., Бишовець Л.Г. Визначення конкурентної переваги борщу «холодноярського»	96
Менчинська А.А., Іванюта А.О., Пилипчук О.С. Технологія мусових продуктів із гідробіонтів	104
Приліпко Т.М., Федорів В.М., Косташ В.Б. Розробка сучасних методів оцінки якості і безпеки сировини і харчових продуктів згідно зі стандартами і нормативами ЄС.....	113
Ряполова І.О. Експертиза м'ясних кулінарних страв дієтичного спрямування за показниками якості	125
Синенко Т.П., Фролова Н.Е., Соколенко В.В., Губа С.О. Дослідження впливу типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків.....	135
Скульська І.В., Цісарик О.Й., Сливка Н.Б. Особливості перебігу ліполітичних процесів у бринзі зі зниженим вмістом кухонної солі.....	147
ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ	154
Волошин М.М. Схема оптимізації та реконструкції водопровідних мереж у селищі міського типу Козацьке Бериславського району Херсонської області.....	154

Морозов О.В., Морозов В.В., Козленко Є.В., Морозова О.С. Концептуальні засади розвитку зрошення в Південному регіоні України з урахуванням технічного стану меліоративної інфраструктури	163
Сиваш С.Б., Соколовська Г.В. Математичні методи в задачах водної інженерії .	175
Чеканович М.Г. Особливості розрахунку будівельних конструкцій з передачею сил поперечної напруги на бетонну суміш	181
Янін О.Є. Задача оптимізації ухилу залізобетонної поперечно напруженої балки.....	188
БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ	195
Чернова О.Т., Грудз В.Я., Гершун Б.І. Рациональні режими експлуатації газотранспортних систем в умовах обмеженого обсягу транзиту газу	195

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY	3
Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. Automated computer system for experimental research in remote format.....	3
Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A. Features of smart technologies on the example of automation of a residential building.....	12
Zhuravlov Yu.I. Thermal regime control of thermoelectric coolers in an uniform temperature field.....	22
Korotun O.V., Vakaliuk T.A., Zubrytskyi V.V., Hordiienko I.V. Theoretical aspects of learning management system development.....	36
Muraviov O.V., Petryk V.F., Lysenko I.I., Bohdan H.A., Nakonechna A.V. Automatization of thermographic diagnostic method of human body pathologies.....	47
Ogir O.O. Principles of diagnostic visualization of the object or environment.....	54
Chaikovskiy S.Yu. Algorithms for testing technical equipment in accredited laboratories using mechanical and climate types of influence	63
Sharov S.V., Lubko D.V., Zynovieva O.H. The use of intelligent systems in the tourism industry	69
FOOD TECHNOLOGY	76
Levchuk I.V., Holubets O.V., Tymchenko V.K., Arutiunian T.V. Scientific and practical aspects of developing the express method for determination of cyst and trans isomers.....	76
Dziuba N.A. Determination of pharmacological properties of the hydrolyzate of the colleague.....	86
Ivashina L.L., Byshovets L.G. Determination of the competitive advantage of “Kholodnoyarsky” borsch	96
Menchynska A.A., Ivanyuta A.O., Pylypchuk O.S. Technology of mousse products from hydrobionts.....	104
Prylipko T.M., Fedoriv V.M., Kostash V.B. Development of modern methods for assessing the quality and safety of raw materials and foodstuffs in accordance with EU standards and regulations	113
Ryapolova I.O. Examination of dietary meat dishes according to quality indicators	125
Syenko T.P., Frolova N.E., Sokolenko V.V., Huba S.O. Investigation of the influence of the sugar types in the model systems with whey protein hydrolysate on Maillard reaction	135
Skulska I.V., Tsisaryk O.Y., Slyvka N.B. Peculiarities of lipolitical processes in cheese with reduced salt content.....	147
HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES	154
Voloshin M.M. Scheme of optimization and reconstruction of water supply networks in the town of Kozatske, Beryslav district, Kherson region.....	154

Morozov O.V., Morozov V.V., Kozlenko Ye.V., Morozova O.S. Conceptual plant development of group in the Pivdenny region of Ukraine from the health of the technical station of the reclaiming infrastructure	163
Syvash S.B., Sokolovska H.V. Mathematical methods in the problems of water engineering	175
Chekanovych M.H. Features of calculation of building structures with transfer of prestressing forces onto concrete mix	181
Yanin O.E. The problem of slope optimization of the reinforced concrete prestressed beam.....	188
CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING	195
Chernova O.T., Hrudz V.Ya., Gershun B.I. Optimization of gas transmission systems regimes in the conditions of their uncomplete loading	195

НОТАТКИ

Таврійський науковий вісник

Випуск 1

Технічні науки

Підписано до друку 28.01.2022 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 16,9.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
Телефони: +38 (0552) 39-95-80, +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.