

ПОЛТАВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**  
**ПОЛТАВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ**  
**Серія «Технічні науки»**

**Випуск 1, 2024**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

## **ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:**

**Ткаченко Аліна Сергіївна**, кандидат технічних наук, доцент, директорка Навчально-наукового інституту денної освіти, Полтавський університет економіки і торгівлі (головний редактор)

**Баркуте-Норкунієнте Вайда**, PhD, асоційований професор, декан факультету бізнесу та технологій, Утенівська колегія «Університет прикладних наук» (Литовська Республіка)

**Горобей Марина Сергіївна**, кандидат технічних наук, директор Центру діджиталізації освітньої та наукової діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

**Губа Людмила Миколаївна**, кандидат технічних наук, доцент, заступник директора Навчально-наукового інституту бізнесу та сучасних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі

**Ємченко Ірина Володимирівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри митного та технічного регулювання, Львівський торговельно-економічний університет

**Лебеденко Тетяна Євгенівна**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри готельно-ресторанного бізнесу, Одеська національна академія харчових технологій

**Радулівіч Джована**, PhD, асоційований професор, керівник школи машинобудування та проектування, Університет Портсмуту (Великобританія)

**Скрипник В'ячеслав Олександрович**, доктор технічних наук, доцент, директор Навчально-наукового інституту харчових технологій, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу, Полтавський університет економіки і торгівлі

**Сукманов Валерій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології та обладнання переробних і харчових виробництв, професор кафедри харчових технологій, Полтавський державний аграрний університет

**Ткачук Валентина Віталіївна**, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету митної справи, матеріалів та технологій, Луцький національний технічний університет

**Хомич Галина Панасівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій харчових виробництв та ресторанного господарства, Полтавський університет економіки і торгівлі

Ресстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1555 від 09.05.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-04059.

Затверджено відповідно до рішення вченої ради  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
(від 28 червня 2024 року протокол № 8)

Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки» включено до переліку наукових фахових видань України в галузі технічних наук (категорія «Б») на підставі Наказу МОН України від 27 вересня 2021 року № 1017 (додаток 3)

**Галузь науки:** технічні.

**Спеціальності:** 181 – Харчові технології; 182 – Технології легкої промисловості;  
183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Збірник включений до міжнародних наукометричних баз даних:  
Index Copernicus, Google Scholar

Електронна сторінка видання: [www.puet.poltava.ua/index.php/technical](http://www.puet.poltava.ua/index.php/technical)  
DOI: 10.37734/2518-7171-2024-1

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

**ЗМІСТ****ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ****В. Р. Білобров**ЗАСТОСУВАННЯ П'ЄЗОРЕЗОНАНСНИХ СЕНСОРІВ  
В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ..... 5**В. В. Любич, В. І. Войтовська**ВМІСТ ЖИРНИХ КИСЛОТ І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ОЛІЇ, ОТРИМАНОЇ  
З ПРОРОСЛОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ.....11**О. П. Чагаровський, А. В. Лукашук**ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАКВАСОЧНИХ КУЛЬТУР У ВИРОБНИЦТВІ  
КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ.....15**К. О. Щербак, О. І. Кармазов, Т. С. Желєва**ХАРАКТЕРИСТИКА ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН ТА ВИВЧЕННЯ ЇХ ПОВЕДІНКИ  
У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ..... 20**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ТОВАРОЗНАВСТВА  
ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ****Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу, А. С. Ткаченко, Н. В. Левшко**

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ПЕЧІНКИ СВИНЕЙ РІЗНИХ ГЕНОТИПІВ.....27

**ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВИХ ТОВАРІВ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ,  
МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ****Г. І. Голодюк, Н. М. Гургула**ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
БІОТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ..... 31**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ****О. В. Ольховська, О. О. Черненко, Т. О. Парфьонова, Є. І. Авраменко**ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ТЕМИ  
«АРИФМЕТИЧНІ КОМАНДИ МОВИ ASSEMBLER» ДИСЦИПЛІНИ  
«АРХІТЕКТУРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ» .....37**О. О. Черненко, О. П. Дзюба**ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ТЕМИ «РІВНЯННЯ ТА СИСТЕМИ  
РІВНЯНЬ» ШКІЛЬНОГО КУРСУ МАТЕМАТИКИ.....43

## CONTENTS

### INNOVATIVE FOOD TECHNOLOGIES

|                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>V. Bilobrov</b><br>APPLICATION OF PIEZORESONANCE SENSORS IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS<br>OF ELECTRIC DRIVES.....                          | <b>5</b>  |
| <b>V. Liubych, V. Voitovska</b><br>FATTY ACID CONTENT AND BIOLOGICAL VALUE OF OIL OBTAINED FROM SPROUTED<br>SOFT WHEAT GRAIN.....            | <b>11</b> |
| <b>O. Chaharovskiy, A. Lukashchuk</b><br>JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF STARTER CULTURES IN THE PRODUCTION<br>OF DAIRY PRODUCTS.....         | <b>15</b> |
| <b>K. Shcherbak, O. Karmazov, T. Zhelieva</b><br>CHARACTERIZATION OF DIETARY FIBERS AND STUDY OF THEIR BEHAVIOR<br>IN AQUEOUS SOLUTIONS..... | <b>20</b> |

### THEORY AND PRACTICE OF FOOD SCIENCE

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>H. Birta, Yu. Burgu, A. Tkachenko, N. Levoshko</b><br>FEATURES OF THE STRUCTURE OF THE LIVER OF PIGS OF DIFFERENT GENOTYPES..... | <b>27</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

### QUALITY AND SECURITY OF INDUSTRIAL GOODS, STANDARDIZATION, METROLOGY, CERTIFICATION AND QUALITY MANAGEMENT

|                                                                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>G. Golodyuk, N. Gurgula</b><br>DETERMINATION OF THE DENSITY OF ORGANIC RAW MATERIAL<br>FOR THE MANUFACTURE OF BIO THERMAL INSULATION MATERIAL..... | <b>31</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

### COMPUTER SCIENCES

|                                                                                                                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>O. Olkhovska, O. Chernenko, T. Parfonova</b><br>SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE EDUCATIONAL TOOL ON THE TOPIC<br>“ASSEMBLER LANGUAGE ARITHMETIC COMMANDS” OF THE DISCIPLINE<br>“COMPUTER SYSTEMS ARCHITECTURE”..... | <b>37</b> |
| <b>O. Chernenko, O. Dzyuba</b><br>DESIGN OF EDUCATIONAL TOOL ON THE SUBJECT “EQUATIONS AND SYSTEMS<br>OF EQUATIONS” FOR THE SCHOOL MATHEMATICS COURSE.....                                                            | <b>43</b> |

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 539.3

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-1>ЗАСТОСУВАННЯ П'ЄЗОРЕЗОНАНСНИХ СЕНСОРІВ  
В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

В. Р. БІЛОБРОВ, студент

(Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)

**Анотація.** Сучасне суспільство перебуває у постійному пошуку точних та надійних методів вимірювання різних параметрів, таких як температура, тиск та вологість. Це обумовлено необхідністю точних даних для наукових та інженерних досліджень, а також для забезпечення якісного контролю процесів у промисловості. Одним з ключових елементів в області вимірювань є сенсори та вимірювальні пристрої. Сенсори та вимірювальні пристрої відіграють важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи збір та аналіз даних про різні параметри навколишнього середовища. Розробка нових типів сенсорів та удосконалення методів їх калібрування має вирішальне значення для точності та надійності вимірювань. У цій науковій роботі будуть розглянуті основні аспекти застосування п'єзореzonансних сенсорів. П'єзоелектричні перетворювачі та сенсори широко застосовуються в гідроакустиці, електроакустиці, в ультразвуковій, медичній, вимірювальній техніці, в зондувальних наномікроскопах, що сканують, п'єзодвигунах та в інших галузях науки і техніки.

Актуальною є напрямок розвитку керованого по частоті п'єзореzonансного сенсора та пристроїв (генераторів, фільтрів і датчиків) є відмова від варикану у ланцюгу керування і управління частотою безпосереднім впливом на елементи резонатора. Що робить використання п'єзореzonансних сенсорів для моніторингу та діагностики стану електроприводів важливим. Проведено огляд технології п'єзореzonансних сенсорів, їх переваги, а також практичні приклади автоматизованих систем контролю, що використовують ці сенсори для підвищення надійності та ефективності роботи електроприводів. Динамічне керування такого п'єзореzonансного сенсора можливо забезпечити мікропереміщенням рухомого електроду резонатора за допомогою лінійного електродинамічного приводу (ЛЕДП).

**Ключові слова:** сенсори, вимірювальні пристрої, лазерне випромінювання, п'єзореzonанс, електропривід, автоматизовані системи, п'єзореzonансна лазерна калориметрія.

**Постановка проблеми.** Особливе місце п'єзоелектричні перетворювачі займають у гідроакустиці входячи в склад автоматизованих систем контролю електроприводів, будучи, по суті, вухами та очима підводних та надводних кораблів. Як відомо, перетворювач – це пристрій, який перетворює одну фізичну величину або енергію на іншу фізичну величину або енергію, наприклад, теплову енергію – на електричну, силу – на переміщення, тиск – на електричну напругу або струм, електричну напругу одного рівня – на електричну напругу іншого рівня тощо [1].

Датчик (сенсор) – це перетворювач вимірюваної фізичної величини, зазвичай, в електричний сигнал (напруга, струм, частоту, фазу тощо). Іншими словами, датчик (сенсор) – це перетворювач для отримання вимірювальної інформації. При проектуванні п'єзокерамічних перетворювачів зазвичай використовують п'єзоелемент певної форми та розмірів з певного п'єзокерамічного матеріалу з певними електрофізичними властивостями (характеристиками). При цьому традиційно вектор сили  $F$ , що діє на п'єзоелемент,

(тиск і т.п.) паралельний вектору поляризації  $P$ . Одночасно вектор сили  $F$  паралельний вектору електричного поля  $E$  вихідного сигналу датчика, тобто перпендикулярний електродам, які нанесені на поверхню п'єзоелемента (рис. 1, а) [2].

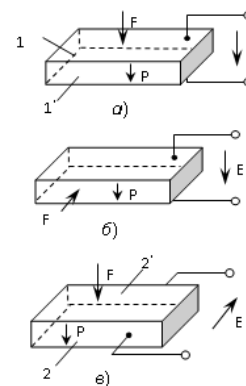


Рис. 1. Тип просторової енергосилової структури п'єзоелемента: а – традиційний; б – поперечний; в – доменно-дисипативний

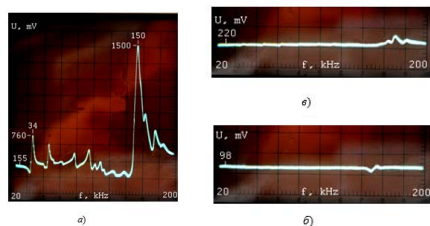
Це, очевидно, пов'язано з тим, що ці електроди використовують для поляризації п'єзоелемента при виготовленні. Одночасно вони використовуються також для зняття корисного сигналу при вимірюванні фізичних величин (сили, тиску, прискорення та ін.), а також для введення в п'єзоелемент електричної напруги при використанні п'єзоелемента як випромінювача. Такий тип перетворювача відомий та названий традиційним. Для цього випадку для певного п'єзоелемента можна отримати лише один перетворювач з певними характеристиками резонансна частота, чутливість, діапазон робочих частот та ін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [3] було запропоновано при проектуванні перетворювачів враховувати взаємне розташування векторів  $F$ ,  $P$  та  $E$ . Це розташування векторів було названо просторовою енергосиловою структурою п'єзоелемента (ПЕСП). Рідше використовуються перетворювачі, в яких п'єзоелемент розташовується таким чином, що вектор сили  $F$  перпендикулярний вектору поляризації  $P$  (рис. 1, б). Такий тип перетворювача було названо поперечним [4].

Дуже цікавим виявився варіант перетворювача, який має вихідний сигнал знімається з електродів 2-2' (рис. 1, в). У цьому випадку вектор  $E$  перпендикулярний до вектора  $P$ . Такий тип перетворювача був названий (можливо не зовсім вдало) доменно-дисипативним [5]. Фізика процесів, які у цих перетворювачах, вивчена недостатньо. Передбачається, що вплив на їх характеристики можуть мати наступні фактори [6]:

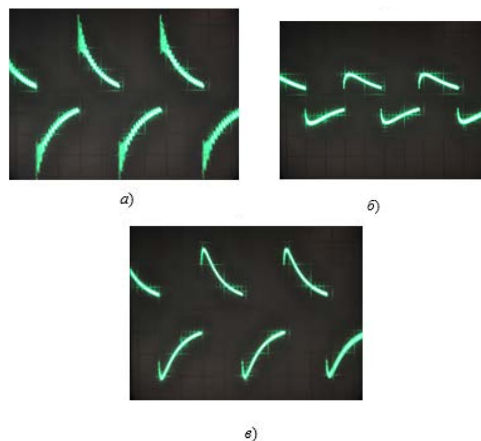
- розсіювання енергії на доменах;
- зміна електричної ємності між електродами;
- виникнення у п'єзоелементі інших типів коливань.

Визначення можливого вкладу кожного з наведених факторів вимагає подальшого вивчення. На рис. 2 показані експериментальні амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) перетворювачів, зображених на рис. 1. Ці перетворювачі були виготовлені з п'єзоелемента з розмірами  $9 \times 10 \times 90$  мм із п'єзокераміки ЦТС-19. Вимірювання АЧХ авторами [7], проводились у п'єзотрансформаторному режимі за допомогою приладу для дослідження АЧХ X1-46, а фотографування характеристик проводилося цифровою камерою "Nikon-D90".



**Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики перетворювачів, показаних на рис. 1: а – рис. 1 а; б – рис. 1 б; в – рис. 1 в**

На рис. 3 показані перехідні характеристики перетворювачів, показаних на рис. 1. Як видно із рис. 2 і 3 при зміні взаємного розташування векторів  $P$ ,  $F$  і  $E$  в просторі динамічні характеристики перетворювачів істотно змінюються. Ця обставина відкриває широкі можливості під час проектування перетворювачів.



**Рис. 3. Перехідні характеристики перетворювачів, показаних на рис. 1: а – рис. 1 а; б – рис. 1 б; в – рис. 1 в**

Автори [8] досліджували ефективність перетворення частоти лазерного випромінювання в нелінійно-оптичних кристалах (які є прототипами п'єзорезонансних сенсорів), яке залежить від узгодження фаз взаємодіючих хвиль, що у разі генерації другої гармоніки з першим типом взаємодії визначається рівністю показників заломлення. Порушення його відбувається, зокрема, при зміні середньої температури та виникненні поздовжніх і поперечних температурних градієнтів кристалу. Як правило [9], у робочому діапазоні довжин хвиль лазерного випромінювання нелінійно-оптичні кристали мають невеликі коефіцієнти поглинання. Однак у разі перетворення високих потужностей лазерного випромінювання навіть невелике оптичне поглинання кристалів може призводити до значного неоднорідного розігріву і, як наслідок, до зниження ефективності перетворення. Раніше [10] в радіочастотному діапазоні було виявлено суттєвий вплив іонної провідності LBO на форму лінії п'єзоелектричних резонансів під час розігріву. Однак вплив іонної провідності на коефіцієнт оптичного поглинання кристала LBO в діапазоні інтенсивності  $10-100 \text{ MW/cm}^2$  безперервного лазерного випромінювання на довжині хвилі  $1070 \text{ nm}$  не було виявлений. Що дозволяє ефективно дослідити п'єзорезонансні сенсори.

**Формування цілей статті.** Дослідити використання п'єзорезонансних сенсорів для моніторингу та діагностики стану електроприводів. Описати практичні приклади автоматизованих систем контролю, що використовують ці сенсори.



**Виклад основного матеріалу.** Перші п'єзоелементи (наприклад, використані П. Ланжевенном у гідролокаторах) являли собою прямокутні кварцові пластини з так званими металевими накладками [11]. Ці знімні накладки виконували дві функції. По-перше, ними збиралися електричні заряди, що виникають при дії звукового тиску. Для випромінювачів за допомогою накладок підводилася електрична напруга. По-друге, за допомогою накладок знижувалась робоча частота п'єзоелемента. Надалі електроди на кварц і п'єзокераміку стали наноситися спалюванням, напиленням тощо, а п'єзоелементи стали мати два постійні електроди. Такі п'єзоелементи отримали назву п'єзорезонатори [12].

Пізніше з'явилися пристрої з урахуванням п'єзорезонаторов, у яких електроди кожної межі ділилися на частини, що створило дві системи електродів – вхідну і вихідну. Такі пристрої виконували функції трансформаторів напруги чи струму з коефіцієнтом передачі (трансформації) до 1000 і більше [13]. Необхідно відзначити, що функція п'єзотрансформатора не єдина для цих пристроїв. Дійсно, кожна система електродів створює власну коливальну систему, яка відрізняється від параметрів коливальної системи всього п'єзоелемента.

Наприклад, в [14] описаний випромінювач, що є п'єзоелементом з декількома системами електродів. З'єднання цих систем у порядку дає можливість створити випромінювачі з різними діаграмами спрямованості. Не менш цікаві результати можна отримати, якщо підключати до вимірювального приладу або генератора електроди різних систем електродів, наприклад, 1-2' або 1'-2 (рис. 4). Це змінює просторову енергосилову структуру п'єзоелемента, отже, і характеристики перетворювача.

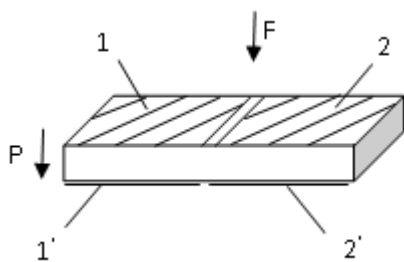


Рис. 4. П'єзоелемент із розділеними електродами

Якщо розділити електроди п'єзоелемента на дві рівні частини, то чутливість датчика заряду зменшиться вдвічі, так як при рівномірному впливі на п'єзоелемент заряд пропорційний площі електродів. Чутливість по напрузі залишиться такою ж, як і для п'єзоелемента з нерозділеними електродами, так як при зменшенні

величини заряду при розподілі електродів зменшується і величина ємності між електродами. Слід зазначити, що просторове розташування електродів один щодо одного та їх комутація призводить не тільки до зміни ємності між електродами та чутливості, але й до зміни динамічних характеристик (АЧХ, імпульсної та перехідної характеристик). Для датчиків можуть використовуватися також п'єзоелементи дискової форми з електродами у вигляді напівдисків, дисків та кілець, п'єзоелементи у формі порожнистих циліндрів та ін. [15].

*Температурні п'єзорезонансні сенсори* є одними з найпоширеніших типів сенсорів. Для підвищення їх точності та функціональності проводиться дослідження нових матеріалів для виготовлення терморезисторів та термопар, а також розробка інноваційних методів виміру температури. Як відомо, термопара містить два спаї, тому для правильного та точного вимірювання температури на одному (першому) зі спаїв, необхідно підтримувати інший (другий) спай за відомої постійної температури, щоб виміряна ЕРС виявлялася явною функцією температури тільки першого спаю – головного робочого спаю. Так, з метою підтримки в термовимірювальному контурі умов, яких паразитний вплив ЕРС другого («холодного спаю») було б необхідно якось компенсувати у будь-який робочий момент часу напругою (рис. 5).

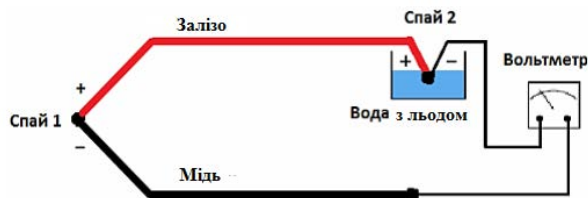


Рис. 5. Термовимірювальний контур, у якому другий спай занурений у воду з льодом

З метою досягнення правильних умов, автори [16] вдалися до хитрості: помістили другий спай (місця приєднання проводів першого спаю з вимірювальним приладом) у ємність з крижаною водою – у заповнену водою ванну, в якій ще плаває лід. Таким чином отримуємо на другому спаї практично постійну температуру танення льоду. Після чого залишиться відстежувати результуючу напругу на термопарі, обчислювати температуру першого (робочого) спаю, бо другий спай буде в незмінному стані, напруга на ньому буде константою. Ціль в результаті буде досягнута, вплив «холодного спаю» виявиться скомпенсований. Але якщо так робити, то вийде громіздко та незручно (рис. 6).

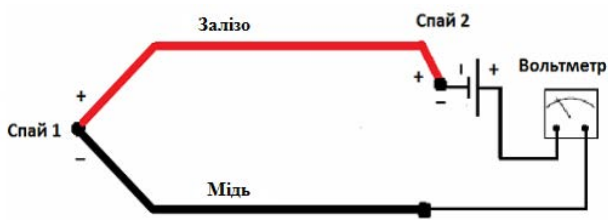


Рис. 6. Термовимірювальний контур, у якому вплив «холодного спаю» скомпенсовано

Найчастіше термопари застосовуються все ж таки в мобільних портативних пристроях, у переносних лабораторних приладах. Варіант, ванна з крижаною водою очевидно не підходить. Інший спосіб є – метод компенсації напруги від температури «холодного спаю», що змінюється: приєднанням послідовно до вимірювального контуру джерела додаткової напруги, ЕРС якого буде мати протилежний напрямок і за величиною буде завжди точно дорівнює ЕРС холодного спаю. У випадку, якщо ЕРС холодного спаю безперервно відстежується шляхом вимірювання його температури іншим способом, ніж термопара, зводячи сумарну напругою паразитної ділянки ланцюга до нуля.

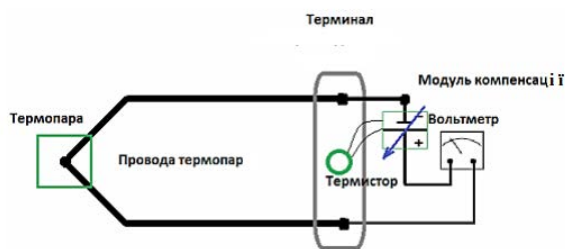


Рис. 7. Термовимірювальний контур з'єднаний із типовою електронікою п'єзореzonансного сенсора

Для цього підійде термістор або термометр опору, з'єднаний з типовою електронікою, яка і автоматично формуватиме компенсуючу напругу необхідної величини. І хоча «холодний спай» не обов'язково може бути буквально холодним, його температура, як правило, не така вже екстремальна, яка може бути у робочому спаї, тому зазвичай підходить навіть термістор.

$$U_{\text{вольтметра}} = U_{\text{спая1}} - U_{\text{спая2}} + U_{\text{компенсації}}$$

Доступні спеціальні електронні компенсуючі модулі «температури танення льоду» для термопар, завдання яких у тому і полягає, щоб подавати точну протилежну напругу у вимірювальний ланцюг. Значення напруги від такого модуля підтримується на такому значенні, щоб точно компенсувати температуру точок приєднання провідників термопари до модуля. Температура точок приєднання (на терміналі) вимірюється термістором або термометром

опору, і точно необхідна напруга автоматично прикладається послідовно до ланцюга.

Електричні п'єзореzonансні датчики тиску застосовуються в багатьох галузях, включаючи авіацію, медицину та промисловість. Розробка мікромеханічних п'єзореzonансних сенсорів із використанням нанотехнологій дозволяє створювати більш компактні та високочутливі датчики тиску. Крім того, дослідження [17] спрямовані на покращення стійкості до впливу агресивних середовищ та високих температур. Будь-який електричний датчик тиску включає: чутливий елемент, який служить передачі впливу на первинний перетворювач, схему обробки сигналу та корпус.

У п'єзореzonансних датчиках тиску працює зворотний п'єзо ефект, при якому п'єзоелектрик деформується під дією напруги, що подається, і що більше напруга, то сильніша деформація. В основі датчика – резонатор у формі пластини з п'єзоелектрика, з двох сторін якої нанесено електроди. При подачі на електроди змінної напруги, матеріал пластини вібрує, згинаючи то в один, то в інший бік, і частота вібрації дорівнює частоті напруги, що подається. Ще один тип електричних датчиків тиску, віддалено схожих на ємнісні – індуктивні чи магнітні датчики. Провідна мембрана, чутлива до тиску, розташована на певній відстані від тонкого – образного магнітопроводу, на середньому керні якого намотана котушка. Між мембраною та магнітопроводом виставлений повітряний зазор.

П'єзореzonансні датчики мають цілу низку переваг у порівнянні з датчиками інших типів. До їх переваг відносяться:

- простота виготовлення, використання недорогих матеріалів для виробництва;
- малі габарити та вага;
- низьке споживання енергії;
- висока чутливість;
- відсутність контактів (у деяких випадках);
- тривалий термін експлуатації;
- потреба дуже малих зусиль для переміщення рухомої частини датчика;
- простота пристосування форми датчика до різних завдань та конструкцій.

До недоліків п'єзореzonансних датчиків слід віднести:

- порівняно невеликий коефіцієнт передачі (перетворення);
- високі вимоги до екранування деталей;
- необхідність роботи на підвищеній (порівняно з 50 Гц) частоті.

**Висновок.** Розробка нових типів сенсорів, зокрема п'єзореzonансних сенсорів та удосконалення методів калібрування відіграють ключову роль у забезпеченні точності та надійності вимірювань різних параметрів. Ці дослідження мають важливе значення для наукових та інженерних завдань, а також для промислових додатків.



Подальші дослідження та інновації у цій області сприятимуть розвитку сучасних технологій та покращенню якості життя. З урахуванням швидкого розвитку технологій та наукових досягнень, можна очікувати, що майбутнє принесе ще більш точні та надійні п'єзореzonансні сенсори,

інноваційні методи калібрування та ширший спектр застосувань для вимірювальних пристроїв. Ці удосконалення сприятимуть підвищенню ефективності та точності процесів контролю, моніторингу та наукових досліджень, сприяючи розвитку нашого суспільства та промисловості загалом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Taranchuk A., Pidchenko S., Skovryha O. Pressure transducer based on the dual-mode piezoresonant sensors with modulated interelectrode gap. Proceedings of IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology, Kiev, Ukraine, 2016, p. 261–263.
2. Sharapov V., Vladisauskas, Bazilo K., Kunitskaya L., Sotula Zh. Methods of synthesis of piezoceramic transducers: spatial energy force structure of piezoelement. ISSN 1392-2114, Ultrasound. 2009. № 4(64). P. 44–50.
3. Z. Hu, J. Hedley, N. Keegan, J. Spoors, B. Gallacher, and C. Mcneil, "One-port electronic detection strategies for improving sensitivity in piezoelectric resonant sensor measurements." Sensors, 16, 1781 (2016).
4. Pidchenko S., Taranchuk A., Spivak A., Akulynichev A. The technical invariance of piezoresonance devices of the info communication systems. Proceedings of IEEE 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Info Communications Science and Technology, Kharkiv, Ukraine, 2016, p. 71–72.
5. Molanes R. F., Farina J., and Rodriguez-Andina J. J. "Field-Programmable System-on-Chip for high-accuracy frequency measurements in QCM sensors." Proc. IECON 2013 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, p. 2267 (2013).
6. Sharapov V., Kazys R., Vladisauskas A., Kunitskaya L., Sotula Zh., Tuz V., Bazilo K. Transducers with piezoelements in schemes of electric filters. ISSN 1392-2114, Ultrasound. 2010. № 1(65).
7. Iglesias E., de Frutos J., de Espinosa F.M. Modelado de transductores ultrasónicos piezoeléctricos para fisioterapia. Boletín Soc. Espa Nola Cerámica Vidr. 2015, 54, 231–235.
8. Qiu Y., Gigliotti J., Wallace M., Griggio F., Demore C., Cochran S. Troler-McKinstry, S. Piezoelectric micromachined ultrasound transducer (PMUT) arrays for integrated sensing, actuation and imaging. Sensors 2015, 15, 8020–8041.
9. Khazaei M., Rosendahl L.A., Rezaei A. Online Condition Monitoring of Rotating Machines by Self-Powered Piezoelectric Transducer from Real-Time Experimental Investigations. Sensors 2022, 22, 3395.
10. Zhang Y., Wang L., Qin L., Zhong C. Wideband and wide beam piezoelectric composite spherical cap transducer for underwater acoustics. Ferroelectrics 2021, 583, 295–305.
11. Martins M., Correia V., Cabral J., Lanceros-Mendez S., Rocha J.G. Optimization of piezoelectric ultrasound emitter transducers for underwater communications. Sens. Actuators Phys. 2012, 184, 141–148.
12. Pershevska L., Drozdenko O., Drozdenko K., Leiko O. Study of the influence of the housing on the cooling efficiency of the piezoceramic electroacoustic Langevin-type transducer. Technol. Audit. Prod. Reserv. 2021, 3, 50–55.
13. Sun D., Wang S., Hata S., Shimokohbe, A. Axial vibration characteristics of a cylindrical, radially polarized piezoelectric transducer with different electrode patterns. Ultrasonics 2010, 50, 403–410.
14. Sharapov V., Vladisauskas, Filimonov S. Piezoceramic scanners on the basis of planar bimorph piezoelements for scanning probe nanomicroscopes. ISSN 1392-2114, Ultrasound. 2010. № 1(65).
15. Suhir E., Birman V. Effect of temperature on vibrations of physically nonlinear piezoelectric rods. In Proceedings of the 11th International Workshop on Thermal Investigation of ICs and Systems, THERMINIC 2005, Belgirate Italy, 27–30 September 2005.
16. Piao C., Kim J.O. Vibration characteristics of an ultrasonic transducer of two piezoelectric discs. Ultrasonics 2017, 74, 72–80.
17. Li X., Lyu D., Song Y., Zhang S., Hu P., Jeong H. Simultaneously determining sensitivity and effective geometrical parameters of ultrasonic piezoelectric transducers using a self-reciprocity method. IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 2019, 66, 1649–1657.

### REFERENCES

1. Taranchuk, A., Pidchenko, S., & Skovryha, O. (2016). Pressure transducer based on the dual-mode piezoresonant sensors with modulated interelectrode gap. Proceedings of IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology, Kiev, Ukraine, p. 261–263.
2. Sharapov, V., Vladisauskas, Bazilo, K., Kunitskaya, L., Sotula, Zh. (2009). Methods of synthesis of piezoceramic transducers: spatial energy force structure of piezoelement. ISSN 1392-2114, Ultrasound. № 4(64). P. 44–50.
3. Hu, Z., Hedley, J., Keegan, N., Spoors, J., Gallacher, B., and Mcneil, C. (2016). "One-port electronic detection strategies for improving sensitivity in piezoelectric resonant sensor measurements." Sensors, 16, 1781.
4. Pidchenko, S., Taranchuk, A., Spivak, A., & Akulynichev, A. (2016). The technical invariance of piezoresonance devices of the info communication systems. Proceedings of IEEE 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Info Communications Science and Technology, Kharkiv, Ukraine, p. 71–72.
5. Molanes, R. F., Farina, J., and Rodriguez-Andina, J. J. (2013). "Field-Programmable System-on-Chip for high-accuracy frequency measurements in QCM sensors." Proc. IECON 2013 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, p. 2267.

6. Sharapov, V., Kazys, R., Vladisauskas, A., Kunitskaya, L., Sotula, Zh., Tuz, V., & Bazilo, K. (2010). Transducers with piezoelements in schemes of electric filters. ISSN 1392-2114, *Ultrasound*. № 1(65).
7. Iglesias, E., de Frutos, J., de Espinosa, F.M. (2015). Modelado de transductores ultrasónicos piezoeléctricos para fisioterapia. *Boletín Soc. Espa Nola Cerámica Vidr.* 54, 231–235.
8. Qiu, Y., Gigliotti, J., Wallace, M., Griggio, F., Demore, C., Cochran, S., & Trolier-McKinstry, S. (2015). Piezoelectric micromachined ultrasound transducer (PMUT) arrays for integrated sensing, actuation and imaging. *Sensors*, 15, 8020–8041.
9. Khazaei, M., Rosendahl, L.A., & Rezaei, A. (2022). Online Condition Monitoring of Rotating Machines by Self-Powered Piezoelectric Transducer from Real-Time Experimental Investigations. *Sensors* 22, 3395.
10. Zhang, Y., Wang, L., Qin, L., & Zhong, C. (2021). Wideband and wide beam piezoelectric composite spherical cap transducer for underwater acoustics. *Ferroelectrics*, 583, 295–305.
11. Martins, M., Correia, V., Cabral, J., Lanceros-Mendez, S., & Rocha, J.G. (2012). Optimization of piezoelectric ultrasound emitter transducers for underwater communications. *Sens. Actuators Phys.* 184, 141–148.
12. Pershevska, L., Drozdenko, O., Drozdenko, K., & Leiko, O. (2021). Study of the influence of the housing on the cooling efficiency of the piezoceramic electroacoustic Langevin-type transducer. *Technol. Audit. Prod. Reserv.* 3, 50–55.
13. Sun, D., Wang, S., Hata, S., Shimokohbe, A. (2010). Axial vibration characteristics of a cylindrical, radially polarized piezoelectric transducer with different electrode patterns. *Ultrasonics*, 50, 403–410.
14. Sharapov, V., Vladisauskas, & Filimonov, S. (2010). Piezoceramic scanners on the basis of planar bimorph piezoelements for scanning probe nanomicroscopes. ISSN 1392-2114, *Ultrasound*. № 1(65).
15. Suhir, E., & Birman, V. (2005). Effect of temperature on vibrations of physically nonlinear piezoelectric rods. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Thermal Investigation of ICs and Systems, THERMINIC, Belgirate Italy, 27–30 September 2005*.
16. Piao, C., & Kim, J.O. (2017). Vibration characteristics of an ultrasonic transducer of two piezoelectric discs. *Ultrasonics*, 74, 72–80.
17. Li, X., Lyu, D., Song, Y., Zhang, S., Hu, P., & Jeong, H. (2019). Simultaneously determining sensitivity and effective geometrical parameters of ultrasonic piezoelectric transducers using a self-reciprocity method. *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control* 66, 1649–1657.

**V. Bilobrov, Student (National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"). *Application of piezoresonance sensors in automated control systems of electric drives***

**Abstract.** Modern society is constantly searching for accurate and reliable methods of measuring various parameters, such as temperature, pressure and humidity. This is due to the need for accurate data for scientific and engineering research, as well as for ensuring quality control of processes in industry. One of the key elements in the field of measurements are sensors and measuring devices. Sensors and measuring devices play an important role in today's world, providing collection and analysis of data on various parameters of the environment. The development of new types of sensors and the improvement of their calibration methods is crucial for the accuracy and reliability of measurements. In this scientific work, the main aspects of the application of piezoresonant sensors will be considered.

The direction of development of the frequency-controlled piezoresonant sensor and devices (generators, filters and sensors) is the rejection of varicap in the control circuit and frequency control by direct influence on the resonator elements. Which makes the use of piezoresonant sensors for monitoring and diagnosing the condition of electric drives important. An overview of the technology of piezoresonant sensors, their advantages, as well as practical examples of automated control systems that use these sensors to increase the reliability and efficiency of electric drives is conducted. Dynamic control of such a piezoresonant sensor can be ensured by micro-movement of the moving electrode of the resonator using a linear electrodynamic drive (LED).

**Key words:** sensors, measuring devices, laser radiation, piezoresonance, electric drive, automated systems, piezoresonance laser calorimetry.

УДК 664.314-021.465:664.34:633.111

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-2>

## ВМІСТ ЖИРНИХ КИСЛОТ І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ОЛІЇ, ОТРИМАНОЇ З ПРОРОСЛОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ

**В. В. ЛЮБИЧ**, доктор сільськогосподарських наук, професор  
(Уманський національний університет садівництва);

**В. І. ВОЙТОВСЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник  
(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків)

**Анотація.** Дослідженням способів отримання олії із зародків пшениці присвячено низку наукових праць. Проте дослідження стосуються способів отримання такої олії. Результати досліджень щодо отримання і якості олії з пророслого зерна пшениці висвітлено недостатньо. Метою статті є дослідження вмісту жирних кислот і біологічної цінності олії, отриманої з пророслого зерна пшениці м'якої. Результати досліджень свідчать, що основною жирною кислотою та основною в складі ПНЖК олії з пророслого зерна пшениці м'якої є лінолева – 55,1%. Крім цього, вміст ПНЖК в такій олії був на рівні 61,9%. Вміст НЖК і МНЖК становив відповідно 17,6 і 15,3%, тобто був майже однаковим. У складі НЖК вміст пальмітинової жирної кислоти був найвищим – 16,8%. Вміст міристинової та стеаринової жирних кислот був у межах 0,2–0,6%. У складі МНЖК вміст олеїнової жирної кислоти був найвищим – 14,7%. Вміст пальмітоолеїнової жирної кислоти був на рівні 0,6%.

Необхідно відзначити, що олія з пророслого зерна пшениці м'якої може бути джерелом ПНЖК, оскільки перевищує добову потребу організму людини у 6 разів. Інтегральний скор при цьому становив 619,0%. Споживання 100 г такої олії забезпечує організм людини на 58,7% НЖК і на 25,5% МНЖК.

Олія з пророслого зерна пшениці м'якої містить також деякі інші біологічно активні речовини. Так, у 100 г олії найбільше містилось вітаміну Е – 151,2 мг. За умови споживання 100 г такої олії у 10 разів перевищує добову потребу організму людини вітаміном Е. Крім цього, вміст вітаміну К був на рівні 0,026 мг/100 г. Інтегральний скор якого становив 35,0%. Вміст вітаміну В<sub>4</sub> був найменшим – 20,5 мг/100 г. Добову потребу ним 100 г олії задовольняло лише на 4,1%.

Необхідно відзначити, що олія з пророслого зерна пшениці м'якої містила фітостероли – 558 мг/100 г. Отже, олія з пророслого зерна пшениці м'якої може бути джерелом високого вмісту ПНЖК  $\omega$ -6 і вітаміну Е. Це створює передумови щодо доцільності застосування олії або продуктів перероблення пророслого зерна пшениці м'якої застосовувати у технології виробництва продуктів підвищеної біологічної цінності.

**Ключові слова:** проросле зерно, пшениці м'яка, жирна кислота, вітаміни, фітостероли, інтегральний скор.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** *Triticum aestivum* L. – гексаплоїдний вид, на частку якого припадає близько 95% пшениці, що вирощується щорічно, і зазвичай використовується для виробництва хліба [1; 2]. До складу зерна, крім крохмалю, входять харчові волокна, мінеральні елементи і фенольні кислоти, які мають антиоксидантні, протизапальні та антиканцерогенні властивості [3; 4].

Зародки пшениці становлять 2–3% цілого зерна пшениці і є цінним побічним продуктом помелу [5]. Завдяки концентрації високоякісних сполук, таких як білки, мінерали, флавоноїди, стерини, вітаміни Е і В зародок вважається найкориснішою частиною зерна пшениці. Зародок має антиоксидантну, антигіперліпідемічну, гіпохолестеринемічну та протипухлинну дію [6; 7]. Проте широке використання зародків обмежене через його швидке окиснення завдяки високому вмісту ненасичених жирних кислот і гідролітичних й окиснювальних ферментів – ліпоксигеназа та ліпаза [8; 9]. Нині розроблено й розробляються ефективні методи і способи зберігання зародку. Проте зазвичай олію добувають із зародків, які відокремлюють під час виробництва борошна [10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням способів отримання олії із зародків пшениці присвячено низку наукових праць [11; 12]. У роботі авторів [13] встановлено, що вихід олії змінювався залежно від виду реагенту екстрагування. Найвищий вихід олії (16,0%) забезпечувало екстрагування сольвентом порівняно з механічним способом і зрідженим диоксидом вуглецю – відповідно 6,6 і 6,4%. Різні способи виробництва олії майже не впливали на вміст жирних кислот. Проте вміст токоферолів змінювався достовірно. Необхідно відзначити, що вміст лінолевої кислоти був найвищим – 53,5–56,7% залежно від способу добування олії. Проте дослідження стосуються способів добування олії і формування її якості залежно від них.

В іншому дослідженні [14] встановлено, що як насичені, так і ненасичені жирні кислоти майже не змінювалися під час проростання насіння люцерни. Основною насиченою жирною кислотою досліджуваних паростків була пальмітинова кислота, кількість якої майже не змінювалась у паростків люцерни під час проростання. Олеїнова та лінолева кислота були основними



серед ненасичених жирних кислот у досліджуваних паростках. Концентрація олеїнової кислоти залишалася незмінною протягом періоду проростання. У паростках сочевиці вміст олеїнової кислоти знижувався, а вміст лінолевої кислоти значно збільшувався. Про різний вміст жирних кислот у насінні олійних культур підтверджено іншими дослідженнями [15; 16]. Отже, вміст жирних кислот і біологічну цінність олії з пророслого зерна пшениці м'якої вивчено недостатньо.

**Формування цілей статті.** Метою статті є дослідження вмісту жирних кислот і біологічної цінності олії, отриманої з пророслого зерна пшениці м'якої.

**Матеріали і методи дослідження.** Експериментальну частину роботи проводили у навчально-науковій лабораторії Уманського НУС «Оцінювання якості зерна і продуктів його перероблення» упродовж 2020–2021 рр. Зерно пшениці м'якої озимої сорту Подолянка пророщували упродовж трьох діб. Після цього проросле зерно висушували, подрібнювали і проводили екстрагування жиру диетиловим ефіром.

Вміст жирних кислот і вітамінів в олії визначали методом рідинної хроматографії на аналізаторі Хромос-301, а інтегральний скор – за такою формулою:

$$I = \frac{\Phi}{D} \times 100,$$

де  $I$  – інтегральний скор, %;  $\Phi$  – фактичний вміст складника, мг/100 г;  $D$  – добова потреба складника організмом здорової людини, мг.

Вважали, що добова потреба організму людини у жирах становить 100 г. Оптимальне відношення насичених жирних кислот (НЖК), мононенасичених жирних кислот (МНЖК) і поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) становить 30 : 60 : 10.

Статистичну обробку даних проводили дисперсійним аналізом. Дисперсійним аналізом підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта « $r$ », який показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли  $p < 0.05$  «нульова гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Результати досліджень свідчать, що основною жирною кислотою та основною в складі ПНЖК олії з пророслого зерна пшениці м'якої є лінолева – 55,1%. Крім цього, вміст ПНЖК в такій олії був на рівні 61,9%. Вміст НЖК і МНЖК становив відповідно 17,6 і 15,3%, тобто був майже однаковим. У складі НЖК вміст пальмітинової жирної кислоти був найвищим – 16,8%. Вміст міристинової та стеаринової жирних кислот був у межах 0,2–0,6%. У складі МНЖК вміст олеїнової жирної кислоти був найвищим – 14,7%. Вміст пальмітоолеїнової жирної кислоти був на рівні 0,6%.

Необхідно відзначити, що олія з пророслого зерна пшениці м'якої може бути джерелом

ПНЖК, оскільки перевищує добову потребу організму людини у 6 разів. Інтегральний скор при цьому становив 619,0%. Споживання 100 г такої олії забезпечує організм людини на 58,7% НЖК і на 25,5% МНЖК (табл. 1).

Таблиця 1  
Вміст жирних кислот та інтегральний скор в олії з пророслого зерна пшениці м'якої озимої, %

| Показник            | Вміст складника в 100 г жиру | Інтегральний скор |
|---------------------|------------------------------|-------------------|
| $C_{14:0}$          | 0,2                          | 58,7              |
| $C_{18:0}$          | 0,6                          |                   |
| $C_{16:0}$          | 16,8                         |                   |
| $C_{16:1}$          | 0,6                          | 25,5              |
| $C_{18:1}$          | 14,7                         |                   |
| $C_{18:3} \omega-3$ | 6,8                          | 619,0             |
| $C_{18:2} \omega-6$ | 55,1                         |                   |
| $HIP_{05}$          | 1,3                          | –                 |

Олія з пророслого зерна пшениці м'якої містить також деякі інші біологічно активні речовини. Так, у 100 г олії найбільше містилось вітаміну Е – 151,2 мг. За умови споживання 100 г такої олії у 10 разів перевищує добову потребу організму людини вітаміном Е. Крім цього, вміст вітаміну К був на рівні 0,026 мг/100 г. Інтегральний скор якого становив 35,0%. Вміст вітаміну  $B_4$  був найменшим – 20,5 мг/100 г. Добову потребу ним 100 г олії задовольняло лише на 4,1% (табл. 2).

Таблиця 2  
Вміст мікроскладових та інтегральний скор в олії з пророслого зерна пшениці м'якої озимої

| Показник    | Вміст складника в 100 г жиру, мг | Інтегральний скор, % |
|-------------|----------------------------------|----------------------|
| $B_4$       | 20,5                             | 4,1                  |
| Е           | 151,2                            | 1008,0               |
| К           | 0,026                            | 35,0                 |
| Фітостероли | 558                              | –                    |
| $HIP_{05}$  | 2,8                              | –                    |

Необхідно відзначити, що олія з пророслого зерна пшениці м'якої містила фітостероли – 558 мг/100 г. Отже, олія з пророслого зерна пшениці м'якої може бути джерелом високого вмісту ПНЖК  $\omega-6$  і вітаміну Е. Це створює передумови щодо доцільності застосування олії або продуктів перероблення пророслого зерна пшениці м'якої застосовувати у технології виробництва продуктів підвищеної біологічної цінності.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у подальшому напрямі.** Встановлено, що основною жирною кислотою та основною в складі ПНЖК олії з пророслого зерна пшениці м'якої є лінолева – 55,1%. Вміст НЖК становить 17,6%, а МНЖК – 15,3%. Олія з пророслого зерна пшениці м'якої має високу біологічну цінність. Так, інтегральний скор для

ПНЖК становить 619,0%, НЖК – 58,7 і МНЖК – 25,5%. В 100 г олії з пророслого зерна пшениці м'якої виявлено 20,5 мг вітаміну В<sub>4</sub>, 151,2 – вітаміну Е, 0,026 – вітаміну К і 558 мг фітостеролів. Інтегральний скор для вітаміну Е становить 1008%, а для вітаміну К – 35,0%. Перспективним є дослідження якості пророслого зерна інших

видів сільськогосподарських культур. Крім цього, особливо значущим є вивчення збереження цінних властивостей пророслого зерна за додавання в готові продукти. Результати досліджень підтверджують можливість ефективного застосування пророслого зерна пшениці, яке не придатне для випікання хліба.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peña-Bautista R. J., Hernandez-Espinosa N., Jones J. M., Guzmán C., Braun H. J. Series on carbohydrates, wheat, grains, and health: Wheat-based foods: Their global and regional importance in the food supply, nutrition, and health. *Cereal Foods World*. 2017. Vol. 62. P. 231–249.
2. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.
3. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
4. Rico D., Peñas E., Garcia M. C., Martinez-Villaluenga C., Rai D. K., Birsan R. I. Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods*. 2020. Vol. 9. Article number 296.
5. Hernandez-Espinosa N., Laddomada B., Payne T., Huerta-Espino J., Govindan V., Ammar K., Ibba M. I., Pasqualone A., Guzman C. Nutritional quality characterization of a set of durum wheat landraces from Iran and Mexico. *LWT Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 124. Article number 109198.
6. Ikram A., Saeed F., Afzaal M., Imran A., Niaz B., Tufail T., Hussain M., Anjum F.M. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Sci. Nutr.* 2021. Vol. 9. P. 4617–4628.
7. Laddomada B., Durante M., Mangini G., D'Amico L., Lenucci M. S., Simeone R., Piarulli L., Mita G., Blanco A. Genetic variation for phenolic acids concentration and composition in a tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) collection. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2017. Vol. 64. P. 587–597.
8. Любич В. В. Значення виду жирозамінника в технології кексів. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 88–94.
9. Liao M., Damayanti W., Zhao Y., Xu X., Zheng Y., Wu J., Jiao S. Hot air-assisted radio frequency stabilizing treatment effects on physicochemical properties, enzyme activities and nutritional quality of wheat germ. *Food Bioprocess Technol.* 2020. Vol. 13. P. 901–910.
10. Srivastava A. K., Sudha M. L., Baskaran V., Leelavathi K. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eur. Food Res. Technol.* 2006. Vol. 224. P. 365–372.
11. Li B., Zhao L., Chen H., Sun D., Deng B., Li J., Liu Y., Wang F. Inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germ with temperature-controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. Article number e0167330.
12. Miyahara R. F., Lopes J. O., Antunes A. E. C. The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: A brief review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2021. Vol. 76. P. 143–152.
13. Marzocchi S., Caboni MF, Greco Miani M, Pasini F. Wheat Germ and Lipid Oxidation: An Open Issue. *Foods*. 2022. Vol. 11(7). Article number 1032.
14. Márton M., Mándoki Z. S., Csapo J. Evaluation of biological value of sprouts. I. Fat content, fatty acid composition. *Acta Univ. Sapientiae Aliment.* 2010. Vol. 3. P. 53–65.
15. Narducci V., Finotti E., Galli V., Carcea M. Lipids and fatty acids in Italian durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Foods*. 2019. Vol. 8. Article number 223.
16. Dhillon B., Choudhary G., Sodhi N.S. A study on physicochemical, antioxidant and microbial properties of germinated wheat flour and its utilization in breads. *J. Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 57. P. 2800–2808.

### REFERENCES

1. Peña-Bautista, R.J., Hernandez-Espinosa, N., Jones, J.M., Guzmán, C., & Braun, H.J. (2017). Series on carbohydrates, wheat, grains, and health: Wheat-based foods: Their global and regional importance in the food supply, nutrition, and health. *Cereal Foods World*, 62, 231–249.
2. Liubych, V. V. (2017). Produktivnist sortiv i liniy pshenyts zalezno vid abiotychnykh i biotychnykh chynnykiv [Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors]. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 95, 146–161 [in Ukrainian].
3. Liubych, V.V. (2016). Biolohichna tsinnist bilka pshenytsi spelyty zalezno vid pokhodzhennia sortu ta liniy [Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain]. *Bulletin of Uman NUH*, 89, 199–206 [in Ukrainian].
4. Rico, D., Peñas, E., Garcia, M.C., Martinez-Villaluenga, C., Rai, D.K., & Birsan, R.I. (2020). Sprouted barley flour as a nutritious and functional ingredient. *Foods*, 9, 296.
5. Hernandez-Espinosa, N., Laddomada, B., Payne, T., Huerta-Espino, J., Govindan, V., Ammar, K., Ibba, M.I., Pasqualone, A., & Guzman, C. (2020). Nutritional quality characterization of a set of durum wheat landraces from Iran and Mexico. *LWT Food Sci. Technol.*, 124, 109198.



6. Ikram, A., Saeed, F., Afzaal, M., Imran, A., Niaz, B., Tufail, T., Hussain, M., & Anjum, F.M. (2021). Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Sci. Nutr.*, 9, 4617–4628.
7. Laddomada, B., Durante, M., Mangini, G., D'Amico, L., Lenucci, M.S., Simeone, R., Piarulli, L., Mita, G., & Blanco, A. (2017). Genetic variation for phenolic acids concentration and composition in a tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) collection. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 64, 587–597.
8. Lyubich, V. V. (2022). Znachennia vydu zhyrozaminyka v tekhnologii keksiv [The importance of the type of fat substitute in the technology of cupcakes]. *Bulletin of the Uman State University*, 1, 88–94 [in Ukrainian].
9. Liao, M., Damayanti, W., Zhao, Y., Xu, X., Zheng, Y., Wu, J., & Jiao, S. (2020). Hot air-assisted radio frequency stabilizing treatment effects on physicochemical properties, enzyme activities and nutritional quality of wheat germ. *Food Bioprocess Technol.*, 13, 901–910.
10. Srivastava, A.K., Sudha, M.L., Baskaran, V., & Leelavathi, K. (2006). Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eur. Food Res. Technol.*, 224, 365–372.
11. Li, B., Zhao, L., Chen, H., Sun, D., Deng, B., Li, J., Liu, Y., & Wang, F. (2016). Inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germ with temperature-controlled short wave infrared radiation and its effect on storage stability and quality of wheat germ oil. *PLoS ONE*, 11, e0167330.
12. Miyahara, R.F., Lopes, J.O., & Antunes, A.E.C. (2021). The use of sprouts to improve the nutritional value of food products: A brief review. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 76, 143–152.
13. Marzocchi, S., Caboni, M.F., Greco Miani, M., & Pasini, F. (2022). Wheat Germ and Lipid Oxidation: An Open Issue. *Foods*, 11(7), 1032.
14. Márton, M., Mándoki, Z.S., & Csapo, J. (2010). Evaluation of biological value of sprouts. I. Fat content, fatty acid composition. *Acta Univ. Sapientiae Aliment*, 3, 53–65.
15. Narducci, V., Finotti, E., Galli, V., Carcea, M. (2019). Lipids and fatty acids in Italian durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Foods*, 8, 223.
16. Dhillon, B., Choudhary, G., & Sodhi, N.S. (2020). A study on physicochemical, antioxidant and microbial properties of germinated wheat flour and its utilization in breads. *J. Food Sci. Technol.*, 57, 2800–2808.

**V. Liubych**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Uman National University of Horticulture); **V. Voitovska**, PhD, Senior Researcher (Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet). **Fatty acid content and biological value of oil obtained from sprouted soft wheat grain**

**Abstract.** A number of scientific works have been devoted to the study of methods of obtaining oil from wheat germ. However, the research concerns the methods of obtaining such oil. Research results of the production and quality of oil from sprouted soft wheat grain have not been sufficiently covered. The purpose of the article is to study the content of fatty acids and the biological value of oil obtained from sprouted soft wheat grain. The results of research indicate that the main fatty acid and the main PUFA component of oil from sprouted soft wheat grain is linoleic acid – 55.1%. In addition, the PUFA content in this oil was at the level of 61.9%. The content of EFA and MUFA was 17.6 and 15.3%, respectively, that is, it was almost the same. The content of palmitic fatty acid was the highest in EFA – 16.8%. The content of myristic and stearic fatty acids was in the range of 0.2–0.6%. The content of oleic fatty acid was the highest in MUFA – 14.7%. The content of palmitoleic fatty acid was at the level of 0.6%.

It should be noted that oil from sprouted soft wheat grain can be a source of PUFA, as it exceeds the daily requirement of the human body by 6 times. While the integral score was 619.0%. Consumption of 100 g of such oil provides the human body with 58.7% of EFA and 25.5% of MUFA.

The oil from sprouted soft wheat grain also contains some other biologically active substances. Thus, 100 g of oil contained the most vitamin E – 151.2 mg. In case of consumption of 100 g of this oil, it is 10 times higher than the human body's daily need for vitamin E. In addition, vitamin K content was 0.026 mg/100 g, the integral score of which was 35.0%. Vitamin B4 content was the lowest – 20.5 mg/100 g. 100 g of oil met its daily need by only 4.1%.

It should be noted that the oil from sprouted soft wheat grain contained phytosterols – 558 mg/100 g. Therefore, the oil from sprouted soft wheat grain can be a source of high content of PUFA  $\omega$ -6 and vitamin E. This creates prerequisites for the expediency of using oil or processed products of sprouted soft wheat grain in the production technology of increased biological value products.

**Key words:** sprouted grain, soft wheat, fatty acid, vitamins, phytosterols, integral score.

УДК 637.14

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-3>

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАКВАСОЧНИХ КУЛЬТУР У ВИРОБНИЦТВІ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

**О. П. ЧАГАРОВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор  
(Одеський національний технологічний університет);

**А. В. ЛУКАЩУК**, головний технолог  
(ТОВ «Науково-виробнича організація «Лактол Інтернейшл»)

**Анотація.** Спираючись на опубліковані дослідження та дані щодо синтезу молочнокислими бактеріями різноманітних сполук, які впливають на органолептичні характеристики кисломолочних продуктів, визначено основні критерії для вибору заквасочних культур, які можуть бути рекомендовані для виробників кисломолочної продукції. Проаналізовано утворення смако-ароматичних сполук залежно від видового складу штамів заквасок, проведено порівняльний аналіз заквасок прямого внесення виробництва компанії Chr. Hansen для виробництва йогуртів, показано ключові відмінності у споживчих якостях йогуртів, вироблених із застосуванням різних стартових культур із декількох серій та генерацій. Аналізуючи залежності в'язкості та органолептичних оцінок йогуртів, вироблених на основі культур попередніх та нових генерацій показано базові принципи модифікації рецептур для розробки нової лінійки сучасних продуктів, що сприяють покращенню економічної ефективності виробництва загалом.

**Ключові слова:** кисломолочні продукти, заквасочні культури, культури прямого внесення, DVS, сквашування, органолептичні властивості.

### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Прихід на ринок України великих західних компаній-виробників заквашувальних препаратів, таких як Chr.Hansen, Danisco та інші, привів до появи у вітчизняній молочній промисловості широкого асортименту нових стартових культур прямого внесення для виробництва різноманітних кисломолочних продуктів. Це привело до необхідності визначити основні критерії, якими слід користуватися при виборі оптимальних культур для виробництва того чи іншого кисломолочного продукту.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Властивості молочнокислих бактерій, які входять до складу стартових культур для виробництва ферментованої молочної продукції висвітлено у багатьох дослідженнях вчених, зокрема у працях Tamime A. Y., Robinson R. K., Dzwolak W., Ziajka S., Chmura S., Baranowska M. [1-3]. Ідентифіковано широкий перелік хімічних сполук, які є результатами метаболізму культурної мікрофлори в процесі ферментації, їх концентрації для окремих штамів, а також встановлено ключові залежності між органолептичною оцінкою кисломолочних продуктів та утворенням вище згаданих речовин в них.

**Формування цілей статті.** На основі вивчення даних досліджень особливостей синтезу молочнокислими мікроорганізмами смако-ароматичних та інших сполук, а також враховуючи сучасні запити ринку до виробництва кисломолочних продуктів із прогнозованими органолептичними характеристиками, пошуку рішень із збільшення економічної ефективності виробництва, було проведено порівняльний аналіз властивостей стартових культур для виробництва йогуртів та визначено

основні критерії щодо вибору тієї чи іншої культури виходячи з потреб виробництва.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Смак, запах, аромат йогурту і інших кисломолочних продуктів визначається не тільки хімічним складом молока і молочних сумішей, а також низкою ароматичних речовин, які є результатом ферментаційної діяльності культур, що входять до складу заквасок. Ароматичні сполуки ферментованих молочних виробів утворюються в процесі метаболізму заквасочної мікрофлори і до них належать: нелеткі кислоти (молочна, піровиноградна, щавелева, янтарна), леткі кислоти (мурашина, оцтова, пропіонова, масляна), карбонільні субстанції (ацетон, ацетоїн, діацетил, ацетальдегід), спирти (2-бутанол, етанол) та інші речовини (ефіри, деякі амінокислоти). Кількість та види ароматичних речовин, що обумовлюють смакові характеристики кисломолочних продуктів залежить від складу молочнокислих бактерій, які містяться в заквасочних препаратах. В таблиці 1 приведені дані про перелік і кількість ароматичних сполук, які продукують деякі штами заквасочних культур для йогуртів та інших ферментованих молочних напоїв [1; 2].

Результати досліджень (табл. 1) свідчать, що смак йогурту визначається в основному ацетальдегідом, вміст якого в готовому продукті є найбільшим у порівнянні з іншими ароматичними речовинами. Так дійсно, більшість публікацій щодо смакових відмінностей йогурту свідчить, що при органолептичній оцінці перевага надавалась виробу, заквасочна культура якого продукувала найбільшу кількість ацетальдегіду [1; 3].

Разом з тим не слід ігнорувати вплив на смаковий профіль йогуртів інших ароматичних субстанцій, які в процесі ферментації синтезують йогуртові штами *Str.thermophilus* і *Lb.bulgaricus*. До них відносяться діацетил, пропанон, бутанон, ацетон, етилацетат та багато інших, що можуть внести значний вклад в формування смаку йогурту.

Загалом відомо, що йогурт може містити 91 хімічну сполуку, 21 з яких зумовлює важливий вплив на формування смаку і аромату в готовому продукті [1]. Такими прекурсорами ароматичних речовин можуть бути леткі жирні кислоти (оцтова, пропіонова, капронова, каприлова, капринова), амінокислоти (серин, пролін, валін, ізолейцин, тирозин, глутамінова кислота, метіонін, фенілаланін), продукції термічної деструкції жиру (кетоні оксикислоти), лактони (фурфууроли).

Враховуючи значні відмінності у властивостях багатьох штамів *Str.thermophilus* та *Lb.bulgaricus*, які вони проявляють під час ферментації молочної суміші для виробництва йогурту (швидкість продукування молочної кислоти, синтез біополімерів-загущувачів, формування смако-ароматичних сполук), постає надактуальне питання: «Як здійснити вибір необхідних йогуртових заквашувальних культур, що дозволять реалізувати вимоги-уявлення щодо споживчих характеристик готового продукту?»

При виборі потрібних заквашувальних культур та будь-якого кисломолочного продукту слід дотримуватися низки рекомендацій, які наведено нижче.

1. Виробник культур повинен надати повну інформацію про склад та властивості заквасок, загальний опис культур, що включає:

- видовий склад штамів заквашувальної культури (коки, палички та інші),
- чутливість до температури середовища (мезофільні, термофільні),
- рекомендоване дозування для заквашування,
- рекомендації по застосуванню,
- криві кислотоутворення в межах температурних режимів ферментації, що характерні для видового складу штамів заквашувальної мікрофлори,
- інформація про відсутність генетично модифікованих організмів штамів (ГМО),
- інформація про наявність алергенів згідно з регламентом ЄС про маркування 1169/2011/ЄС з доповненнями,
- дієтичний статус (кошер, халяль),
- умови зберігання і термін придатності,
- асортимент виробничої серії заквашувальних культур та особливості їх ротації,
- опис зовнішнього вигляду та фізичного стану культур.

2. Особливу увагу при виборі заквашувального перпарату для йогуртів заслуговує додаткова

Таблиця 1

**Синтез смако-ароматичних речовин культурами, що використовують у виробництві йогуртів та кисломолочних продуктів [2]**

| Назва бактерії                                                                    | Етанол, мг/л | Ацетальдегід, г/л | Діацетил, мг/л | Пропанон, мг/л | 2-бутанон, мг/л | Оцтова кислота, мг/л | Ацетоїн*, мг/л | Мурашина кислота, мг/л | Ацетон, мг/л |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|------------------------|--------------|
| <i>Str. salivarius subsp. thermophilus</i>                                        | 0–10,1       | 3,0–7,5           | 0–61           | 0,01–1,8       | 0,5             | 54                   | –              | 18–32                  | 0,2–5,2      |
| <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>                                | 0–38         | 0,5–45            | 0–13           | 0,2–1,5        | 0,53            | 1,2                  | –              | –                      | 0,3–3,2      |
| <i>Lactobacillus lactis subsp. lactis</i>                                         | 16,4–40,0    | 0,7–8,4           | 0,05–4,4       | 1,3–1,6        | –               | 12                   | –              | –                      | –            |
| <i>Lactobacillus lactis subsp. diacetilactis</i>                                  | 13,1–183,1   | 2,2–11,4          | 0,6–55,0       | –              | –               | 444–840              | 0–311          | –                      | –            |
| <i>Lactobacillus acidophilus</i>                                                  | –            | 3–41              | 1–62           | –              | –               | –                    | 4–724          | –                      | –            |
| <i>Lactobacillus casei subsp. casei</i>                                           | 4,2–8,4      | –                 | 34–57          | –              | –               | 28,8–540             | 0–43,1         | –                      | –            |
| <i>Bifidus breve</i> (мкг/л)                                                      | 62,1         | 77,5              | 0,7            | 11,6           | 0,6             | –                    | –              | –                      | –            |
| <i>Bifidus longum</i> (мкг/л)                                                     | 13,4–71      | 31,0–45,3         | 0,8–2,1        | 11,0–11,4      | 0,5–0,6         | –                    | –              | –                      | –            |
| <i>Bacterium bifidum</i> (мкг/л)                                                  | 54,6         | 12,5              | 0,6            | 12,2           | 0,6             | –                    | –              | –                      | –            |
| Змішана культура ( <i>Str. thermophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> )** | –            | 2,0–41,0          | 0,4–0,9        | –              | –               | –                    | 2,2–5,7        | –                      | 1,3–4,0      |

Примітка: \*ацетоїн є сполукою, що не має запаху, але при його окисленні утворюється діацетил; \*\* інформація про синтез смако-ароматичних речовин приведена в монографії [1].

інформація про його кислототворчі властивості (швидкість ферментації та постацидифікація), здатність до утворення густого згустку, відчуття повноти структури згустку на смак, а також формування характерного для йогурту аромату та смаку.

Про важливість бути обізнаними з вищеперерахованими властивостями заквасок наглядно демонструють побудовані спайдердіаграми культур YC-X11, YF-L901 та YoFlex Advance (рис. 1), які були вибрані в якості прикладів із серії йогуртових заквашувальних препаратів компанії Chr.Hansen, яка складається із більш ніж 30 окремих композицій. Слід підкреслити, що до складу йогуртових заквасок YC-X11, YF-L901 та YoFlex Advance входять виключно комбінації штамів *Str.thermophilus*, *Lb.bulgaricus*, в той же час серія культур Chr.Hansen містить також окремі екземпляри заквашувальних препаратів з молочнокислими бактеріями *Lactobacillus rhamnosus* (YoFlex Creamy 1.0, YoFlex Creamy 2.0), *Lactobacillus fermentum* (YoFlex Harmony 1.0) та *Lactobacillus lactis* (YC-180). Аналіз загального опису профільних характеристик йогуртових культур YC-X11, YF-L901 та YoFlex Advance 2.0 свідчить про значні відмінності між ними. Так, культура YF-L901 постачається на ринок тільки в замороженому стані, а YoFlex Advance виключно в ліофілізованій формі, в той час як YC-X11 є доступною в обох фізичних формах. Як випливає із спайдердіаграм, за своїми властивостями вказані заквашувальні препарати значно відрізняються, а відповідно, споживчі характеристики йогуртів, при виробництві яких застосовували YC-X11, YF-L901 та YoFlex Advance не будуть схожі між собою. Найбільш густий йогурт, але зі слабким смаком і ароматом та невеликим зростанням кислотності під час зберіганням буде мати місце у випадку використання йогуртової культури YF-L901. Відтак, зовсім інша картина спостерігається при виробництві йогурту на культурі YC-X11, який матиме гарний смак та аромат, але середню за густиною консистенцію з більш вираженою спроможністю до наростання кислотності протягом зберігання. І, нарешті, йогурт з повною структурою на смак, але з найменш вираженим ароматом та дуже слабкою постацидифікацією при зберіганні може бути випродукований при застосуванні культури YoFlex Advance.

Аналіз властивостей розглянутих йогуртових заквасок, що відображені на рисунку 1, в підсумку дозволяє попередньо сформулювати наступні рекомендації:

1. Культури YC-X11 слід використовувати для виробництва питного йогурту без фруктово-ягідних наповнювачів, термін придатності якого є коротким ( $\leq 14$  діб), в зв'язку з середнім значенням постацидифікації. Крім того, під час виробничого процесу після закінчення швидкої ферментації необхідно охолодити згусток за максимально короткий термін щоб уникнути переокислення готового продукту. Враховуючи здатність культури

YC-X11 надавати йогурту гарний смак та аромат, можна рекомендувати використовувати кінцевий продукт як основу для виробництва айрану, тану та інших кисломолочних напоїв з низьким вмістом білка.

2. Культуру YoFlex Advance найкраще застосовувати у виробництві питних йогуртів з наповнювачами і з подовженими термінами зберігання ( $\geq 30$  діб) так як в готовому продукті процес постацидифікації протікає дуже повільно, а синтез незначної кількості смако-ароматичних сполук не має негативного впливу на органолептику кінцевого виробу, яку формують фруктові-ягідні добавки.

3. Густі йогурти слід виробляти з культурою YF-L901, яка продукує природні біополімери (екзополісахариди), що беруть участь у формуванні густої структури згустку, повнота якої відчувається на смак.

Сучасні заквашувальні культури прямого внесення Direct Vat Set (DVS) є найкращими технологічними інструментами для прогнозування і конструювання ферментованих молочних продуктів з бажаними смаковими характеристиками (смак, аромат, консистенція, їх стабільність та незмінність під час зберігання та інші).

Враховуючи, що для йогурту і цілої низки кисломолочних виробів бактеріальні заквашувальні препарати містять асоціативні штами мікрофлори з різними властивостями, то поєднання різних культур може допомогти покращити необхідні характеристики або навпаки знівелювати недоліки, що притаманні заквасці, яка містить одинокі штами молочнокислих бактерій. Тому вибір заквасочних культур для йогурту і ферментованих молочних виробів є особливо важливою процедурою, від якої залежать не тільки якісні показники готової продукції, але і економічна ефективність їх виробництва.

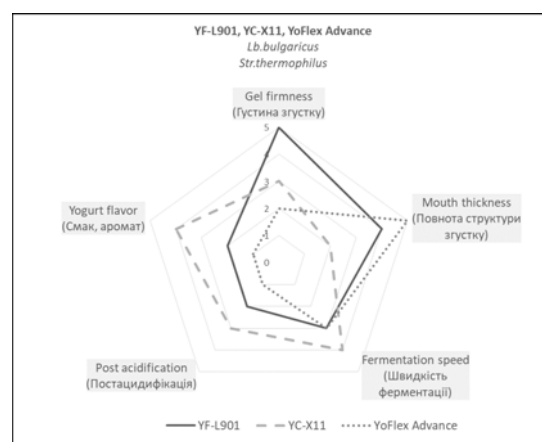


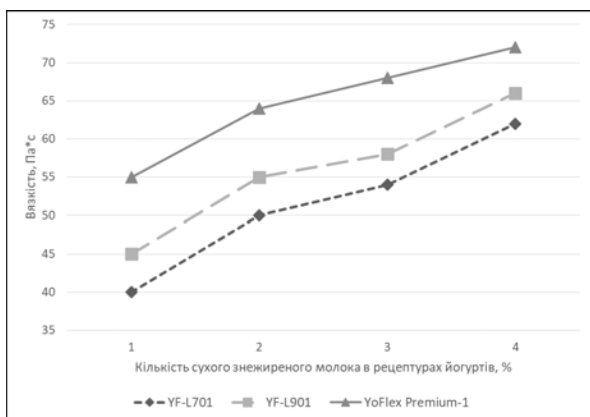
Рис. 1. Профільні характеристики йогуртових культур компанії Chr.Hansen.

Бальна оцінка властивостей: 1 – дуже низька/дуже повільна; 2 – мала/повільна; 3 – середня; 4 – висока/швидка; 5 – дуже висока/дуже швидка



Селекційна робота, яка проводиться в міжнародних біотехнологічних компаніях щодо покращення таких властивостей штамів молочнокислої мікрофлори як синтез екзогенних полісахаридів, формування бажаних смако-ароматичних сполук, гальмування або відсутність процесів кислотоутворення протягом тривалого зберігання привели до появи нового покоління культур, що дозволяють оптимізувати йогуртові рецептури знизити виробничі затрати та поліпшити натуральність готової продукції.

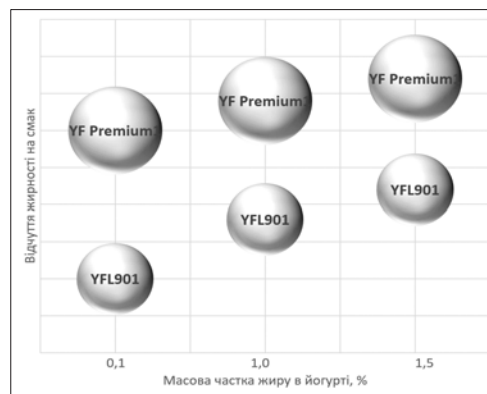
Значне підвищення в'язкості згустків йогурту має місце при застосуванні нових культур YoFlex Premium-1 в порівнянні з культурою YF-901 та YF-L701 у випадку присутності в рецептурах 1%, 2%, 3% та 4% сухого знежиреного молока, що представлено у вигляді кривих на рисунку 2.



**Рис. 2. Залежність в'язкості йогуртів, вироблених на різних культурах компанії Chr.Hansen від вмісту сухого знежиреного молока в рецептурах**

Аналіз даного графіку свідчить про зростання в'язкості згустку у випадку сквашування молочної суміші, що містить 1% сухого знежиреного молока, культурами YoFlex Premium-1 до ідентичних значень які кисломолочний згусток має у випадку вмісту 2% сухого знежиреного молока в йогуртовій суміші, яка була ферментована за допомогою культур YF-L901. При використанні йогуртових культур YF-L701 подібних величин в'язкості згусток набуває тільки у випадку додавання понад 3% сухого знежиреного молока.

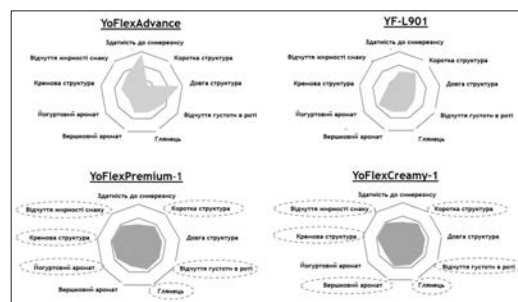
Відтак, нове покоління йогуртових культур дозволяє отримати згусток із високим рівнем в'язкості, що дає можливість як мінімум вдвічі зменшити вміст сухого знежиреного молока в рецептурі молочної суміші без будь-якого компромісу для реологічних характеристик. Окрім густого продукту із чудовою консистенцією, нові заквашувальні культури сприяють значному покращенню смаку йогурту надаючи йому вершковість, що створює враження жирності навіть для виробів із низьким вмістом жиру (рис. 3).



**Рис. 3. Порівняльна характеристика органолептичного відчуття жирності йогуртів з різною масовою часткою жиру та вироблених із використанням культур YoFlex Premium 1, YF-L901**

Йогуртові культури нового покоління компанії Chr.Hansen (YoFlex Premium, YoFlex Mild, YoFlex Creamy) відкривають безмежні можливості для створення досконалих продуктів з бажаним органолептичним профілем (аромат, смак, зовнішній вигляд, консистенція) в порівнянні із заквасками попередньої генерації (YoFlex Advance та YF-L901) по створенню кращої консистенції (кремова, глянцева, густа, коротка структура) згустку, більш вираженого вершкового йогуртового аромату, відчуття жирності та густоти на смак, меншу здатність до синерезису, про що наглядно демонструють профілі споживчих характеристик, що відображені на рисунку 4 у вигляді спайдердіаграм.

Порівняльний аналіз спайдердіаграм йогуртових культур YoFlex Premium-1, YoFlex Creamy-1 та культур попереднього покоління YoFlex Advance та YF-L901 свідчить про значну еволюцію заквашувальних препаратів нової генерації, використання яких дозволяє виробляти йогурт з досконалою органолептикою, а також створює передумови до перегляду існуючих рецептур з метою збільшення економічної ефективності виробництва за рахунок зменшення жирності, зниження дозування або відмови від додавання загущувачів, сухого знежиреного молока, білка та інших інгредієнтів, які формують текстуру йогурту.



**Рис. 4. Профілі споживчих характеристик йогуртів, вироблених на заквашувальних культурах попередньої (YoFlex Advance та YF-L901) та нової (YoFlex Premium-1, YoFlex Creamy-1) генерації**



**Висновки.** Системний підхід до обґрунтованого вибору відповідних заквашувальних препаратів у виробництві кисломолочних продуктів є критично важливим і необхідним враховуючи широку палітру доступних на вітчизняному ринку

пропозицій. Вивчення і розуміння властивостей стартових культур дає змогу не лише прийняти найбільш оптимальне рішення у кожному конкретному виробництві, але також і створювати нові смачні та конкурентоспроможні продукти.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tamime A. Y., Robinson R. K. Yoghurt. Science and Technology. Boca Raton, FL : Woodhead Publishing Ltd., 1999. 662 с.
2. Dzwolak W., Ziajka S., Chmura S., Baranowska, M. Produkcja mlecznych napojów fermentowanych. Warszawa : Oficyna Wydawnicza Hoża, 2000. 324 с.
3. Tamime A. Y. Some aspects of the production of yoghurt and condensed yoghurt. Ph. D. Thesis. Reading : University of Reading Department of Food Science, 1977. 77 с.

### REFERENCES

1. Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). Yoghurt. Science and Technology. Boca Raton, FL : Woodhead Publishing Ltd., 662 p.
2. Dzwolak, W., Ziajka, S., & Chmura, S., Baranowska, M. (2000). Produkcja mlecznych napojów fermentowanych [Manufacture of Milk Fermented Drinks]. Warszawa : Oficyna Wydawnicza Hoża, 324 p [in Polish],
3. Tamime, A. Y. (1977). Some aspects of the production of yoghurt and condensed yoghurt. Ph. D. Thesis. Reading : University of Reading Department of Food Science, 77 p.

**O. Chaharovskiy**, PhD. Dr., Professor (Odesa National University of Technology); **A. Lukashchuk**, Chief Technologist (Lactol International LLC). **Justification of the choice of starter cultures in the production of dairy products**

**Abstract.** The main criteria for the starter cultures selection process, which could be recommended for fermented milk products producers, have been determined based on published studies and data about lactic acid bacteria synthesis of various chemical compounds which affect fermented milk products' organoleptic characteristics. The flavor compounds formation analyzed depending on the species composition of starter cultures, a comparative analysis of Chr.Hansen's starter cultures for yogurts carried out, key differences of yogurt consumer characteristics which produced by different starter cultures from several ranges and generations were shown. The basic recipe modification principles were described by analyzing the dependences of viscosity and organoleptic properties of yogurts produced by starter cultures from previous and new generations for new range modern dairy products development that contribute to improving the economic efficiency of production.

**Key words:** fermented milk products, starter cultures, direct vat set cultures, DVS, fermentation, organoleptic properties.

УДК 637.521.039

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-4>

## ХАРАКТЕРИСТИКА ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН ТА ВИВЧЕННЯ ЇХ ПОВЕДІНКИ У ВОДНИХ РОЗЧИНАХ

К. О. ЩЕРБАК, здобувачка рівня вищої освіти бакалавр;

О. І. КАРМАЗОВ, здобувач рівня вищої освіти бакалавр;

Т. С. ЖЕЛЄВА, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології м'яса  
(Державний біотехнологічний університет)

**Анотація.** Підвищений попит на заморожені м'ясні вироби робить актуальною проблему збереження їх структурних властивостей при низькотемпературній обробці та зберіганні, а сучасні тенденції в харчуванні людини потребують виробництва продуктів харчування мінімальної енергетичної цінності, з мінімальною кількістю жиру та наявністю речовин, що поліпшують травлення. Одним із способів вирішення даних проблем є можливість використання харчових волокон під час виробництва м'ясних заморожених виробів. Широке різноманіття харчових волокон вітчизняного та зарубіжного виробництва на ринку України потребує системних досліджень для окремих видів волокон. Так, метою роботи було надати характеристику харчових волокон та вивчити їх поведінку у водних розчинах. В роботі вивчено та охарактеризовано чотири види харчових волокон (апелсинове волокно, морквяна, картопляна та пшенична клітковина), представлених на ринку харчових добавок України.

Експериментальні дослідження дозволили визначити поведінку харчових волокон у воді та водних розчинах електролітів шляхом вивчення процесів їх набрякання. Встановлено, що процес набрякання всіх харчових волокон в перші (10...15)-60 с йде інтенсивно. Незалежно від складу розчинника (вода, розчин NaCl) максимальний ступінь набрякання харчових волокон досягається протягом (20...35)-60 с, а найбільші швидкості набрякання на початкових стадіях та ступінь набрякання мали апельсинове волокно та морквяна клітковина. Також встановлено, що час досягнення повного набрякання морквяної клітковини був найдовшим порівняно з усіма харчовими волокнами. Одержані результати дослідження дозволили відзначити апельсинове харчове волокно «Citri-Fi» для цілеспрямованого використання під час виробництва м'ясних заморожених виробів.

**Ключові слова:** заморожені м'ясні вироби, харчові волокна, харчові добавки рослинного походження, кінетичні криві набрякання, швидкість та ступінь набрякання.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Підвищений попит на заморожені м'ясні вироби робить актуальною проблему збереження їх структурних властивостей при низькотемпературній обробці та зберіганні, а сучасні тенденції в харчуванні людини потребують виробництва продуктів харчування мінімальної енергетичної цінності, з мінімальною кількістю жиру та наявністю речовин, що поліпшують травлення. Одним із способів вирішення цих проблем є можливість використання харчових волокон при виробництві м'ясних заморожених виробів. Вивченням даної можливості займалося багато науковців та фахівців, однак ця проблема досі лишається невирішеною та актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Харчові волокна – це багатокомпонентна суміш різних за своєю природою речовин, основними з яких є полісахариди – неіоногенні або аніоноактивні поліелектроліти.

Серед фізико-хімічних властивостей харчових волокон найважливішими є їх гідрофільність і висока вологоутримуюча здатність. В середньому, 1 г волокна зв'язує 3 мл води, але ця величина сильно коливається залежно від типу волокна. Ця здатність волокон зумовлена наявністю в них гідрофільних

функціональних груп: карбоксильних, карбоксиметильних, гідроксильних та ін. [1; 2].

Для кращого розуміння властивостей харчових волокон необхідно знати їх хімічний склад. Волокна являють собою рослинний полісахаридний комплекс, який пов'язаний з білками та жирами [1]. Загалом вони мають такий склад, мас. %: вуглеводи – 81, у тому числі клітковина – 68; протеїни – 8; жири – 1; волога – 7; зола – 3. Основну частину вуглеводів складають полісахариди целюлозної природи – нейтральні та кислі, що впливають на перебіг процесу набрякання [3].

Харчові волокна належать до харчових добавок рослинного походження, що мають широкий спектр функціонально-технологічних властивостей. У м'ясних продуктах їх зазвичай використовують як стабілізатори фаршевих емульсій та напівфабрикатів заморожених для запобігання відділення вологи при зберіганні виробів, збільшення виходу та покращення показників якості, збагачення м'ясних продуктів корисними для здоров'я харчовими волокнами [4].

Використанню харчових волокон у складі м'ясних заморожених виробів присвячено багато робіт [4–8], однак їх широке різноманіття на ринку України обумовлює необхідність в системних

дослідженнях для окремих видів. Відомо, що властивості харчових волокон визначаються структурою і співвідношенням формуючих їх компонентів. Значною мірою особливості харчових волокон обумовлені видом рослини, їх віком, технологією виділення [9]. Тому харчові волокна різних видів рослин відмінні один від одного і в кожному конкретному випадку потрібна оцінка їх властивостей. Це дозволило визначити напрям подальших теоретичних та експериментальних досліджень та їх перспективність.

**Формування цілей статті.** Проведений аналіз літературних даних дозволив визначити мету роботи – характеристика харчових волокон та вивчення їх поведінки у водних розчинах. Сформульовано завдання дослідження:

- підбір та аналіз харчових волокон для цілеспрямованого використання під час виробництва м'ясних заморожених виробів;
- вивчення поведінки харчових волокон у водних розчинах;
- обґрунтування рекомендації щодо використання харчових волокон у технологіях м'ясних заморожених виробів.

Предметами дослідження стали чотири види харчових волокон, які мають дозвіл на використання у харчовій промисловості:

- апельсинове волокно «Citri-Fi» (ТОВ «Компанія Євроімпекс»);
- морквяна клітковина «Нессе» (ТОВ «Мельниця приправ»);
- картопляна клітковина «Potex» (ТОВ «Альфа-Нова»);
- пшенична клітковина «ВіаФайбер WF1000» (ТОВ «Віанокс»).

Дослідження проводили на кафедрі технології м'яса Державного біотехнологічного університету. Досліджували поведінку харчових волокон у воді та водних розчинах електролітів шляхом вивчення процесів їх набрякання. Ступінь набрякання волокон визначали об'ємним методом – відношенням об'єму набряклого волокна до його вихідного об'єму. Даний показник з часом збільшувався і поступово наближався до рівноважного значення. Швидкість набрякання волокон визначали графоаналітичним методом шляхом побудови кінетичних кривих залежності ступеня набрякання волокон з часом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З огляду на поставлені завдання проведено роботи в двох напрямках – теоретичному та експериментальному. Під час теоретичних досліджень було вивчено та охарактеризовано декілька популярних видів харчових волокон, представлених на ринку харчових добавок України.

Апельсинове волокно «Citri-Fi» (ТОВ «Компанія Євроімпекс») – натуральне цитрусове волокно, витягнуте з клітинних тканин висушеної

апельсинової м'якоти без використання хімічних реагентів за допомогою механічної обробки, а саме – шляхом розкриття і розширення структури осередків апельсинового волокна. Така структура здатна утримати велику кількість води і зберегти її протягом усього часу виробничого процесу і зберігання продукту [10; 11].

Більшість виробників харчових волокон намагаються збільшити їх вологоутримуючу здатність за рахунок зменшення розмірів їх частинок. Однак таке волокно поглинає і тримає велику кількість води лише на початковому етапі, а в процесі теплової обробки і під час зберігання продукції значно її втрачає.

Здатність апельсинових волокон зв'язувати воду і утримувати її після термообробки або заморожування залежить від ступеня гідрофільності, характеру поверхні і пористості частинок волокна. Велика кількість гідрофільних груп забезпечує здатність волокна до утримання води і набрякання [8; 10]. Citri-Fi має високу жирозв'язуючу здатність, емульгуючі, стабілізуючі, структуроутворюючі властивості, антиоксидантну дію, знижує забрудненість мікроорганізмами, збільшуючи тим самим термін зберігання і покращуючи свіжість харчових продуктів, стійкість до високих температур заморожування і розморожування. Покращує поживну цінність, оскільки є продуктом функціонального призначення, завдяки вмісту корисної для здоров'я людини дієтичної клітковини [8; 10; 12].

За органолептичними показниками Citri-Fi являє собою порошок світло-кремового кольору з нейтральним смаком і запахом [8]. Термін зберігання не більше 36 місяців при температурі не нижче 0 °С і не вище 32 °С і відносній вологості повітря 30–75% з дотриманням умов транспортування і зберігання [8; 13].

Харчові апельсинові волокна «Citri-Fi» не входять до переліку інгредієнтів, що підлягають обов'язковому декларуванню у складі продукту з індексом «Е» [11]. Високі функціонально-технологічні властивості в поєднанні з біологічною цінністю відносять їх до поліфункціональних волокон для харчової промисловості. Основне призначення апельсинових волокон «Citri-Fi» – це підвищення енергоцінності, зниження собівартості, поява нових смакових рішень, поліпшення якості та органолептичних властивостей кінцевого продукту.

Завдяки своїм унікальним властивостям апельсинові волокна «Citri-Fi» знаходять широке застосування при виробництві м'ясної, кондитерської, молочної, хлібобулочної та рибної продукції, продуктів функціонального призначення, у тому числі і при виробництві масложирової продукції [8; 14; 15].

Основною перевагою використання волокон «Citri-Fi» є те, що поряд з формуванням необхідної

консистенції і поліпшенням органолептичних властивостей харчових продуктів, вони позитивно впливають на фізіологічні процеси організму людини: очищають від шлаків, знижують холестерин, виводять важкі метали, покращують функціонування шлунково-кишкового тракту. Волокна дозволяють розширити асортимент продуктів, корисних для здоров'я.

Рекомендовані норми використання у складі м'ясних заморожених виробів становить 0,1–3% [8; 12].

Інноваційний процес виробництва і високі технологічні властивості «Citri-Fi» в поєднанні з біологічною цінністю дозволяють визначити основне призначення апельсинових волокон «Citri-Fi» – це зниження собівартості, поліпшення якості та органолептичних властивостей готового продукту, підвищення поживної цінності, що робить їх унікальними у порівнянні з іншими видами харчових волокон. Продукт «Citri-Fi» виробництва заводу Fiberstar Inc., США був нагороджений срібною медаллю на Європейській виставці харчових добавок в номінації «Найбільш інноваційна харчова добавка» [12; 13].

Морквяна клітковина «Нессе» від фірми-виробника «Мельниця приправ» вже давно зарекомендувала себе на ринку харчових добавок та серед фахівців харчової галузі, у тому числі м'ясної. Її використовують в якості харчового волокна, що добре набрякає, з метою часткової заміни м'ясної сировини.

Здатність морквяної клітковини поглинати значні кількості вологи обумовлює її ефективне застосування в якості стабілізатора фаршевої структури при виготовленні продуктів, що містять гідратовані тваринні та рослинні білки і емульсії на їх основі. Вологоутримуюча здатність волокнистих структур моркви перевищує показник будь-яких інших клітковин в 4–5 разів і становить 1:10–19, в залежності від рівня заміни м'ясної сировини.

Морквяна клітковина має антиоксидантну дію, що особливо актуально для продуктів з м'яса птиці механічної обвалки та продуктів, підданих тривалому зберіганню, у тому числі в замороженому вигляді. Використання клітковини «Нессе» в січених м'ясних напівфабрикатах до 50% знижує втрати при смаженні, при цьому зберігає соковитість і підсмажений зовнішній вигляд.

Рекомендована норма застосування становить 0,5–2% або 1:8–10.

Морквяну клітковину вносять в фарш в сухому вигляді або після попередньої гідратації. В сухому вигляді клітковину вносять на м'ясну нежирну сировину на першому етапі. Ступінь зв'язування вологи і рівень внесення клітковини в сухому вигляді залежить від якості м'ясної сировини, рецептури, типу обладнання, вимог, що пред'являються до якості готового продукту.

Для повного розкриття функціональних властивостей клітковини «Нессе» рекомендується проводити її попередню гідратацію теплою водою (35–45 °С) з подальшим охолодженням за температури 0–4 °С. Попередню гідратацію клітковини проводять в куттері або в мішалці. Допускається її внесення на стадії додавання жирної сировини. Гідратація харчових волокон залежить від рівня заміни м'ясної сировини в рецептурі. Так, при заміні м'ясної сировини до 10–15% морквяною клітковиною ступінь її гідратації повинен становити 1:10–15, а при заміні м'ясної сировини до 15–20% – гідратація 1:8–10.

Морквяну клітковину можна застосовувати спільно з будь-яким порошкоподібним тваринним або рослинним білком [16].

Картопляна клітковина Potex, шведської компанії «Lyckeby Starch AB» фірми-представника в Україні ТОВ «Альфа-Нова», є продуктом переробки картопляних очисток і залишків стін картопляних бульб без використання хімічних процесів. Частка клітковини становить 1% від загальної ваги картоплі, в той час як частка крохмалю – близько 20%. Проте, виробництво картопляної клітковини дуже перспективне, бо вона є найціннішою частиною картоплі.

Найбільш важлива властивість картопляної клітковини – підвищена здатність зв'язувати вологу. Порожні, висушені клітини клітковини при контакті з водою знову набувають своїх розмірів і структури. Фактична здатність зв'язування води клітковиною залежить від зовнішніх умов. Встановлено, що високі температури не впливають на вологоутримуючу здатність Potex, а навпаки, при підвищенні температури до 90 °С вологоутримуюча здатність збільшується на 20%. Крім того, Potex витримує холод без втрати вологоутримуючої здатності. Навіть багаторазові повторювані цикли заморожування та розморожування не впливають на вологоутримуючу здатність Potex.

Клітковина Potex також володіє високою жируотримуючою здатністю та нерозчинна у воді, що дозволяє виробляти стійкі суміші жиру і води в співвідношенні 8:8:1 (вода:жир:Potex). Вона добре витримує рН від 3 до 10. Так, при рН 4, вологоутримуюча здатність Potex залишається фактично без змін.

Potex багате на дієтичне волокно: майже в 2 рази перевищує вміст в пшеничних висівках. Картопляні волокна містять пектин і геміцелюзу, які впливають на метаболізм та функції кишечника. Potex має низьку калорійність – 75 ккал/100 г. На відміну від зернових волокон, Potex містить менше фітинової кислоти, яка зв'язує мінерали і обмежує їх засвоєння організмом.

Potex легкий у використанні та може легко змішуватися з іншими інгредієнтами і водою без побічних ефектів осідання і утворення грудок.



Цей комплекс властивостей робить клітковину незамінним компонентом при виробництві м'ясних продуктів. Рекомендована норма використання в м'ясних виробах – 0,3...1% до маси несоленої сировини [17; 18].

Серед широкого асортименту пшеничного волокна, представленого на ринку, необхідно виділити пшеничну клітковину ВіаФайбер WF1000 компанії Віанокс – однієї з лідерів на ринку харчових інгредієнтів України, що пропонує пшеничну клітковину для харчової промисловості, зокрема м'ясної.

Пшенична клітковина ВіаФайбер WF1000 складається з баластних речовин і має велике значення з точки зору біологічної цінності і принципів здорового харчування. Клітковина є харчовими волокнами і дозволена до застосування як харчова добавка. Вона служить не тільки для збагачення продуктів баластними речовинами, а й пропонує цілий ряд функціональних і технологічних рішень.

Головна функціональна особливість клітковини – її висока волого- і жирозв'язуюча здатність – 1:12 та 1:5 відповідно. Оскільки волокна клітковини мають капілярну структуру, утримання води відбувається не тільки поверхнею волокон, а й всередині капілярних каналів, в результаті чого волога рівномірно розподіляється і міцно утримується, покращуючи структуру готового продукту. Додавання всього 2% харчових волокон значно підвищує показник вологозв'язування в харчовій системі. Оскільки рідина транспортується в серцевину волокон целюлози по капілярах, консистенція не зазнає ніякого негативного впливу, що забезпечує стабільність продукту.

Використання даної клітковини при виробництві січених м'ясних напівфабрикатів дозволяє стабілізувати реологічні характеристики фаршу. Завдяки високій волого- і жирозв'язуючій здатностям клітковина покращує процес формування, знижує втрати при термічній обробці, при цьому зберігається соковитість і привабливий зовнішній вигляд готової продукції.

При заморожуванні напівфабрикату гідроксильні групи целюлози зв'язують молекули води, внаслідок чого вони не кристалізуються, що призводить до поліпшення якості, оскільки при розморожуванні кристали льоду не руйнують стінки клітин. Отже, не відбувається втрата м'ясного соку.

Рекомендована норма використання в січених напівфабрикатах – не більше 2% до маси несоленої сировини. Закладка здійснюється в фаршмішалці разом з м'ясною сировиною і ретельно перемішується протягом 5–10 хв, потім додають інші компоненти рецептури відповідно до технологічної схеми [19].

Отже, проведена частина теоретичних робіт дозволяє стверджувати про доцільність

використання наведених видів харчових волокон у складі м'ясних заморожених виробів.

Під час експериментальних досліджень було вивчено поведінку харчових волокон у водних розчинах шляхом визначення швидкості та максимального ступеня набрякання. Враховуючи, що загалом рецептура м'ясних заморожених виробів містить сіль кухонну у кількості близько 2%, то вважаємо доцільним також дослідити процеси набрякання харчових волокон у 1% та 2% розчині солі.

Кінетичні криві набрякання харчових волокон наведено на рис. 1, узагальнені кінетичні характеристики процесу набрякання харчових волокон – швидкість набрякання на початкових стадіях процесу ( $\omega$ , кг/с), константа швидкості набрякання ( $k$ ,  $c^{-1}$ ), час досягнення повного набрякання ( $\tau_{max}$ , с), максимальний ступінь набрякання волокон – граничне набрякання ( $\alpha_{\infty}$ , %) представлені в табл. 1.

Експериментально встановлено, що процес набрякання всіх харчових волокон в перші (10...15)·60 с йде інтенсивно, досягаючи максимального ступеня набрякання 450% (у воді дистильованій).

У розчинах електролітів має місце електростатична взаємодія іонів з іоногенними функціональними групами поліелектролітів. Так, при набряканні волокон у розчинах солі катіони натрію взаємодіють із негативно зарядженими карбоксильними групами, що входять до складу полігалактуронових кислот. У результаті загальний заряд макромолекул полісахаридів волокон зменшується. Як відомо, макромолекули поліелектролітів в ізоелектричному стані мають більш щільне пакування, яке не сприяє їхньому набряканню.

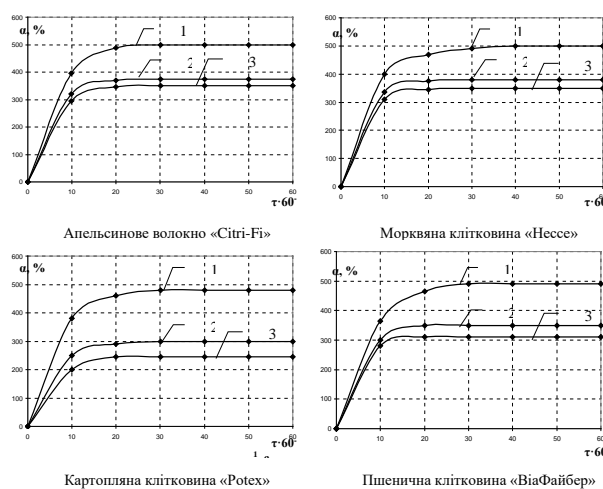


Рис. 1. Кінетичні криві набрякання харчових волокон ( $t_{набр} = 14,0 \pm 0,5^\circ C$ ): 1 – у воді; 2 – в 1% розчині NaCl; 3 – в 2% розчині NaCl



Таблиця 1

## Характеристики процесу набрякання харчових волокон

| Найменування розчинника         | Кінетичні характеристики      |                       |                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|
|                                 | $\omega \cdot 10^{-5}$ , кг/с | $k$ , с <sup>-1</sup> | $\tau_{\max} \cdot 60^{-1}$ , с | $\alpha_{\infty}$ |
| Апельсинове волокно «Citri-Fi»  |                               |                       |                                 |                   |
| Вода дистильована               | 0,15                          | 6,84                  | 25                              | 500               |
| 1% розчин NaCl                  | 0,13                          | 6,54                  | 20                              | 375               |
| 2% розчин NaCl                  | 0,11                          | 8,22                  | 20                              | 350               |
| Морквяна клітковина «Нессе»     |                               |                       |                                 |                   |
| Вода дистильована               | 0,15                          | 6,76                  | 35                              | 500               |
| 1% розчин NaCl                  | 0,14                          | 6,74                  | 25                              | 380               |
| 2% розчин NaCl                  | 0,12                          | 8,46                  | 25                              | 350               |
| Картопляна клітковина «Potex»   |                               |                       |                                 |                   |
| Вода дистильована               | 0,14                          | 6,78                  | 30                              | 480               |
| 1% розчин NaCl                  | 0,10                          | 8,54                  | 25                              | 300               |
| 2% розчин NaCl                  | 0,09                          | 9,22                  | 20                              | 245               |
| Пшенична клітковина «ВіаФайбер» |                               |                       |                                 |                   |
| Вода дистильована               | 0,12                          | 8,14                  | 30                              | 490               |
| 1% розчин NaCl                  | 0,11                          | 8,25                  | 20                              | 350               |
| 2% розчин NaCl                  | 0,11                          | 8,27                  | 20                              | 310               |

Набрякання волокон у водних розчинах електролітів пов'язане зі зміною фізичного стану його гідрофільних компонентів, зокрема білків та полісахаридів, під час їх взаємодії з гідратованими іонами.

Узагальнюючи одержані результати, можна стверджувати, що незалежно від складу розчинника (вода, розчин NaCl) максимальний ступінь набрякання харчових волокон досягається протягом (20...35)·60 с, що є основою для визначення технологічних параметрів виробництва м'ясних заморожених виробів, а саме витримки м'ясної системи до дозування. Також встановлено, що найбільш швидкість набрякання на початкових стадіях та ступінь набрякання як і у розчинах солі, так і у воді мають харчові волокна Citri-Fi та Нессе, найменшу – Potex. Однак, час досягнення повного набрякання Нессе був найдовшим порівняно з усіма харчовими волокнами (35·60 с).

Одержані експериментальні результати дослідження є підґрунтям як для обґрунтування вибору харчових волокон, так й визначення технологічних параметрів окремих операцій виробництва м'ясних заморожених виробів.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Результати проведених досліджень дозволили відзначити апельсинові харчові волокна «Citri-Fi» для цілеспрямованого використання під час виробництва м'ясних заморожених виробів. Вважаємо перспективним подальший напрям робіт із розробки нових рецептур заморожених м'ясних виробів із використанням у їх складі харчових апельсинових волокон «Citri-Fi», які дозволять розширити асортимент високоякісної і конкурентоспроможної м'ясної продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баль-Прилипко Л. В. Актуальні проблеми галузі : навчальний посібник. Київ, 2010. 374 с.
2. Кватирка О. Клітковина: особливості використання харчових волокон у м'ясній промисловості. *М'ясні технології світу*. 2010. № 11. С. 28–32.
3. Пернеровська А. С., Желева Т. С. Сучасні аспекти використання харчових волокон під час виробництва функціональних м'ясних продуктів. *Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини* : матеріали VII міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 30-31 травня 2016 р. Кривий Ріг : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2016. С. 98–99.
4. Желева Т. С., Розуменко А. Р. Вплив харчових добавок рослинного походження на функціонально-технологічні властивості заморожених м'ясних напівфабрикатів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2021. № 4. С. 50–60.
5. Biswas A. K., Kumar V., Bhosle S., Sahoo J., Chatli M. K. Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*. 2011. Vol. 4. № 2. P. 45–54.
6. Желева Т. С. Перспективи використання фаршу м'ясного замороженого з сумішшю «KRIOMEAT» в сегменті HORECA. *Innovative development of hotel and restaurant industry and food production* : proceedings of I International scientific and practical Internet conference, 24.04.2020. Prague : Oktan-Print s.r.o., 2020. P. 36–37.
7. Желева Т. С., Янчева М. О., Большакова В. А. Суміші «KrioMeat» у технологіях виробництва напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених. *Розвиток технічних наук: проблеми та рішення* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Брно, 27-28 квітня 2018 р. Чеська Республіка, Брно, 2018 р. С. 91–95.

8. Баль-Прилипка Л. В., Леонова Б. І., Рябовол М. В. Використання харчових апельсинових волокон при виробництві м'ясних продуктів. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25. № 6. С. 131–137. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/26352dbd-cd4d-491d-a237-312c54f82a36/content> (дата звернення: 02.04.2024).
9. Javůrková Z., Pospiech M., Zelenková M., Kameník J., Petrášová M., Tremlová B. Microscopic determination of Bamboo Fiber in Meat Products. *Potravinářstvo Scientific Journal for Food Industry*. 2015. Vol. 9. № 1. P. 190–194.
10. Де замовити харчові волокна «Citri-Fi» в Україні? Функціональні властивості харчових волокон. *Харчові технології*: веб-сайт. URL: <https://harch.tech/2022/05/17/euroimpex-citri-fi/> (дата звернення: 02.04.2024).
11. Харчові волокна Fiberstar Inc., США. *Компанія Євроімпекс*: веб-сайт. URL: <https://euroimpex.net.ua/ru/pishhevue-voлокna/> (дата звернення: 02.04.2024).
12. Citri-Fi Natural Citrus Fiber. URL: <https://www.fiberstar.net/citri-fi-natural-citrus-fiber-overview/> (дата звернення: 02.04.2024).
13. Fiberstar, Inc.: Citri-Fi® Citrus Fiber – Natural & Clean Label. URL: <https://www.fiberstar.net> (дата звернення: 02.04.2024).
14. Натуральні інгредієнти для покращення смаку та корисності варених ковбас. *Компанія Євроімпекс*: веб-сайт. URL: <https://euroimpex.net.ua/ru/11-naturalni-gridienti-dlya-pokrashheniya-smaku-ta-korisnosti-varenih-kovbas/> (дата звернення: 02.04.2024).
15. Беркіта О. Харчові апельсинові волокна у м'ясопереробній галузі. *М'ясні технології світу*. 2011. № 3. С. 34–35.
16. Nesse Ukraine. URL: <http://nesse-ukraine.com> (дата звернення: 02.04.2024).
17. Грек О.В., Онопрійчук О.О., Тимчук А.В., Овсієнко К.В. Визначення показників якості альбумінової пасти з клітковиною. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Том 23. № 6. С. 149–157. URL: <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2017/6/19.pdf> (дата звернення: 02.04.2024).
18. Шевчук Ю.С., Якимчук І.В., Грищенко А.М. Використання картопляної дієтичної харчової клітковини в хлібпеченні. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8272f4b9-9e5f-4be7-8dd2-da876cc43537/content> (дата звернення: 02.04.2024).
19. Клітковина ВіаФайбер. *Компанія Віанокс*: веб-сайт. URL: <https://vianoks.com.ua/ua/nashi-predlozheniya/myasnye-polufabrikaty-ua/kletchatka-prottekt-3-ua.html> (дата звернення: 02.04.2024).

## REFERENCES

1. Bal-Prylypko, L. V. (2010). *Aktualni problemy haluzi [Current problems of the industry]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Kvaturka, O. (2010). Klitkovyna: osoblyvosti vykorystannia kharchovykh volokon u miasnii promyslovosti [Klitkovyna: the peculiarities of the pickling of grub fibers in meat industry]. *Miasni tekhnologii svitu – Myasni technologies to light*, 11, 28–32 [in Ukrainian].
3. Pernerovska, A. S., & Zhelieva, T. S. (2016). Suchasni aspekty vykorystannia kharchovykh volokon pid chas vyrobnytstva funktsionalnykh miasnykh produktiv [Modern aspects of the use of dietary fibers during the production of functional meat products]. *Materialy VII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Kharchovi dobavky. Kharchuvannia zdorovoi ta khvoroї liudyny» – Proceedings of the VII International Scientific and Practical Internet Conference «Nutritional supplements. Nutrition of a healthy and sick person»*. (pp. 98–99). Kryvyi Rih: DonNUET im. M. Tuhana-Baranovskoho [in Ukrainian].
4. Zhelieva, T. S., & Rozumenko, A. R. (2021). Vplyv kharchovykh dobavok roslynnoho pokhodzhennia na funktsionalno-tekhnolohichni vlastyvyty zamorozhenykh miasnykh napivfabrykativ [The influence of food additives of vegetable origin on the functional and technological properties of frozen meat semi-finished products]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky – Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences*, 4, 50–60 [in Ukrainian].
5. Biswas, A. K., Kumar, V., Bhosle, S., Sahoo, J., & Chatli M. K. (2011). Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *International Journal of Livestock Production*, 2 (4), 45–54.
6. Zhelieva, T. S. (2020). Perspektyvy vykorystannia farshu miasnoho zamorozhenoho z sumishshiu «KRIOMEAT» v sehmenti HORECA [Prospects for the use of frozen minced meat with the KRIOMEAT mixture in the HORECA segment]. *Proceedings of I International scientific and practical Internet conference «Innovative development of hotel and restaurant industry and food production»*. (pp. 36–37). Prague: Oktan-Print s.r.o. [in Cheska Republic].
7. Zhelieva, T. S., Yancheva, M. O., & Bolshakova, V. A. (2018). Sumishi «KrioMeat» u tekhnolohiiakh vyrobnytstva napivfabrykativ miasnykh posichenykh zamorozhenykh [The sums of "KrioMeat" in technologies of virobnytstva napivfabrykativ meats in many frozen]. *Materialy Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Rozvytok tekhnichnykh nauk: problemy ta rishennia» – Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Development of technical sciences: problems and solutions»*. (pp. 91–95). Brno [in Cheska Republic].
8. Bal-Prylypko, L. V., Leonova, B. I., & Riabovol, M. V. (2019). Vykorystannia kharchovykh apelsynovykh volokon pry vyrobnytstvi miasnykh produktiv [The use of edible orange fibers in the production of meat products]. *Naukovi pratsi NUKhT – Scientific Works of NUFT*, 6 (25), 131–137. Retrieved from <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/26352dbd-cd4d-491d-a237-312c54f82a36/content> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].
9. Javůrková, Z., Pospiech, M., Zelenková, M., Kameník, J., Petrášová, M., & Tremlová, B. (2015). Microscopic determination of Bamboo Fiber in Meat Products. *Potravinářstvo Scientific Journal for Food Industry*, 1 (9), 190–194.
10. Де замовити харчові волокна «Citri-Fi» в Україні? Функціональні властивості харчових волокон. *Харчові технології* [Where to order dietary fibers "Citri-Fi" in Ukraine? Functional properties of dietary fibers. Food technologies]. *harch.tech*. Retrieved from <https://harch.tech/2022/05/17/euroimpex-citri-fi/> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

11. Kharchovi volokna Fiberstar Inc., SShA. Kompaniia Yevroimpex [Dietary fibers Fiberstar Inc., USA. Euroimpex company]. *euroimpex.net.ua*. Retrieved from <https://euroimpex.net.ua/ru/pishhevye-voлокna/> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

12. Citri-Fi Natural Citrus Fiber. Retrieved from <https://www.fiberstar.net/citri-fi-natural-citrus-fiber-overview/> (accessed 2 April 2024).

13. Fiberstar, Inc.: Citri-Fi® Citrus Fiber – Natural & Clean Label. Retrieved from <https://www.fiberstar.net> (accessed 2 April 2024).

14. Naturalni inhridenti dlia pokrashchennia smaku ta korysnosti varenykh kovbas. Kompaniia Yevroimpex [Natural ingredients to improve the taste and usefulness of cooked sausages. Euroimpex company]. *euroimpex.net.ua*. Retrieved from <https://euroimpex.net.ua/ru/11naturalni-ingridienti-dlya-pokrashhennya-smaku-ta-korisnosti-varenih-kovbas/> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

15. Berkyta, O. (2011). Kharchovi apelsynovi volokna u miasopererobnii haluzi [Edible orange fibers in the meat processing industry]. *Miasni tekhnologii svitu – Meat technologies of the world*, 3, 34–35 [in Ukrainian].

16. Nesse Ukraine. Retrieved from <http://nesse-ukraine.com> (accessed 2 April 2024).

17. Hrek, O. V., Onopriichuk, O. O., Tymchuk, A. V., & Ovsienko, K. V. (2017). Vyznachennia pokaznykiv yakosti albuminnoi pasty z klitkovynoiu [Determination of quality indicators of albumen paste with fiber]. *Naukovi pratsi NUKhT – Scientific Works of NUFT*, 6 (23), 149–157. Retrieved from <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2017/6/19.pdf> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

18. Shevchuk, Yu. S., Yakymchuk, I. V., & Hryshchenko, A. M. Vykorystannia kartoplanoi diietychnoi kharchovoi klitkovyny v khlibopechenni [Use of potato dietary fiber in bread baking]. Retrieved from <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8272f4b9-9e5f-4be7-8dd2-da876cc43537/content> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

19. Klitkovyna ViaFaiber. Kompaniia Vianoks [ViaFiber fiber. Vianox company]. *vianoks.com.ua*. Retrieved from <https://vianoks.com.ua/ua/nashi-predlozheniya/myasnye-polufabrikaty-ua/kletchatka-prottekt-3-ua.html> (accessed 2 April 2024) [in Ukrainian].

**K. Shcherbak**, bachelor's degree holder; **O. Karmazov**, bachelor's degree holder; **T. Zhelieva**, PhD, Associate Professor of the Department of Meat Technology (State Biotechnological University). **Characterization of dietary fibers and study of their behavior in aqueous solutions**

**Abstract.** The increased demand for frozen meat products makes the problem of preserving their structural properties during low-temperature processing and storage urgent, and modern trends in human nutrition require the production of food products with a minimum energy value, with a minimum amount of fat and the presence of substances that improve digestion. One of the ways to solve these problems is the possibility of using dietary fibers during the production of frozen meat products. The wide variety of dietary fibers of domestic and foreign production on the market of Ukraine requires systematic research for individual types of fibers. Thus, the purpose of the work was to provide a characterization of dietary fibers and study their behavior in aqueous solutions. The paper studied and characterized four types of food fibers (orange fiber, carrot, potato and wheat fiber) presented on the market of food additives in Ukraine.

Experimental studies made it possible to determine the behavior of dietary fibers in water and aqueous solutions of electrolytes by studying the processes of their swelling. It was established that the process of swelling of all dietary fibers in the first (10...15)-60 seconds is intensive. Regardless of the composition of the solvent (water, NaCl solution), the maximum degree of swelling of food fibers is reached within (20...35)-60 seconds, and orange fibers and carrot fiber had the highest swelling speed at the initial stages and the degree of swelling. It was also established that the time to reach full swelling of carrot fiber was the longest compared to all dietary fibers. The obtained results of the study made it possible to note the orange dietary fiber "Citri-Fi" for targeted use during the production of frozen meat products.

**Key words:** frozen meat products, dietary fibers, dietary supplements of vegetable origin, kinetic curves of swelling, rate and degree of swelling.

## ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ТОВАРОЗНАВСТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 636.4.082

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-5>

### ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ПЕЧІНКИ СВИНЕЙ РІЗНИХ ГЕНОТИПІВ

Г. О. БІРТА, доктор сільськогосподарських наук, професор;

Ю. Г. БУРГУ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент;

А. С. ТКАЧЕНКО, кандидат технічних наук, доцент;

Н. В. ЛЕВОШКО, ст. викладач

(Полтавський університет економіки і торгівлі)

**Анотація.** Печінка відіграє важливу роль у травленні, обміні речовин, імунобіологічних реакціях, тощо. Печінка – найбільша залоза організму із складними і різноманітними функціями. Вона виробляє жовч, бере участь у ліпідному, білковому, вуглеводному та інших обмінах речовин. У ній синтезуються білки плазми крові, знешкоджуються шкідливі для організму речовини азотистого обміну, які потрапляють з кров'ю із органів травлення.

Метою роботи було порівняльне вивчення мікроскопічної будови та морфометричних показників печінки свиней різних генотипів.

Досліджувались зразки тканини печінки чотирьох порід свиней, а саме: великої білої української селекції, великої білої зарубіжної селекції, полтавської м'ясної та м'ясо-жирової при забойній масі тварин в 100 кг.

Результати досліджень показали, що печінка свиней складається з одноманітних за будовою мілких тканинних комплексів – печінкових часток. Мікроскопічно печінка побудована зі сполучнотканинної стромы і паренхіми. Строма органу сформована капсулою, поверх якої – серозна оболонка.

Аналіз морфологічних досліджень будови печінки досліджуваних порід свиней показав, що гепатоцити незмінні, ніяких сторонніх включень не виявлено; простори Діссе не розширені, не містять рідини. Судини помірного кровонаповнення.

**Ключові слова:** генотип, печінка, будова, гістопрепарат, гепатоцит, печінкова частка, стан судин, просторів Діссе.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями.** Забезпечення якості та безпеки харчових продуктів як один із факторів підвищення здоров'я населення сьогодні є надзвичайно актуальним.

За безпеку та якість українських харчових продуктів відповідає Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів». Згідно із цим Законом, безпечний харчовий продукт – харчовий продукт, який не справляє шкідливого впливу на здоров'я людини та є придатним для споживання [3].

Хімічні та біологічні контамінанти можуть потрапляти і акумулюватись у харчових продуктах двома шляхами: як прояв біологічного ланцюга, що забезпечує обмін речовин між живими організмами, з одного боку, і повітрям, водою і ґрунтом – з іншого, так і харчового ланцюга, що включає всі етапи сільськогосподарського і промислового виробництва продовольчої сировини і харчових продуктів, а також їх зберігання, пакування та маркування. Встановлено, що із загальної

кількості чужорідних хімічних речовин, що проникають з навколишнього середовища в організм людини, в залежності від умов проживання, від 30 до 80% надходить з їжею.

Саме тому питання безпечності і належного рівня якості продовольчої сировини і харчових продуктів є одними із найважливіших завдань сучасного суспільства щодо здоров'я населення і збереження його генофонду, що є відображенням одного з векторів державної політики – забезпечення безпечного стану довкілля і доступу до якісної питної води, безпечних харчових продуктів та промислових товарів [4].

До висококалорійних продуктів харчування відносять не тільки м'ясо, а і субпродукти. За вмістом повноцінних білків печінка близька до м'яса. А також містить вітаміни та мікроелементи. Печінка і нирки багаті пантотеновою та фолієвою кислотами, холіном.

Печінка відіграє важливу роль у травленні, обміні речовин, імунобіологічних реакціях, тощо. Печінка – найбільша залоза організму із складними



і різноманітними функціями. Вона виробляє жовч, бере участь у ліпідному, білковому, вуглеводневому та інших обмінах речовин. У ній синтезуються білки плазми крові, знешкоджуються шкідливі для організму речовини азотистого обміну, які потрапляють з кров'ю із органів травлення.

Водночас печінка містить повноцінні білки, в тому числі феритин та ферин (до 1%), до складу яких входить відповідно 21,1 та 15,7% органічно зв'язаного тривалентного заліза. Враховуючи те, що печінка є депо крові (до 20% крові організму), містить гематокупреїн (0,34% міді), повний комплекс вітамінів групи В і вітамін А, її широко використовують для лікувального харчування або виробництва медпрепаратів, що мають високу антианемічну дію. Печінка містить до 5% глікогену. Нирки містять приблизно 12,5% білків, 2,0–2,5% екстрактивних речовин, у тому числі значну кількість ферментів [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання поданої проблеми й на які спираються автори, виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Від народження і до двотижневого віку ріст печінки у ссавців відбувається за рахунок поділу клітин. Згодом кількість клітин залишається постійною, а збільшення їх клітинного і ядерного об'ємів стає пропорційним логарифму маси печінки. При цьому величина гепатоцитів та їх ядер різна, і тому співвідношення ядер і цитоплазми у клітинах також різне [8].

Невеликі за розміром клітини містяться, в основному, на периферичних ділянках часточок печінки, великі – у середніх ділянках. Найбільший індекс ядерно-цитоплазматичного відношення виявлений у гепатоцитах периферійних ділянок, мінімальний – у гепатоцитах центральних ділянок.

Морфологічною та функціональною одиницею печінки є печінкова часточка. На гістопрепараті вона має вигляд шестикутника. Її розмір коливається в межах 0,5–1 мм. У центрі часточки розміщена центральна вена. Частка побудована з гепатоцитів, які формують печінкові балки. Балки мають радіальний напрямок. Їх радіальність досить чітко виражена у свиней. Кожна печінкова балка складається з двох рядів печінкових клітин, між якими формуються так звані часточкові жовчні капіляри, які не мають власних стінок. Встановлено, що величина клітин та їх ядер різна, і тому співвідношення ядер і цитоплазми у клітинах також різне [7].

При гістологічному дослідженні печінки у клінічно здорових тварин встановлена її нормальна структура і архітектоніка. Поверхня печінки вкрита сполучнотканинною капсулою. Структурно-функціональними одиницями органа є печінкові часточки, які утворюють її паренхіму. Часточки мають форму багатогранних призм, які

відмежовані одна від одної прошарками пухкої сполучної тканини. Морфометричні дослідження дали можливість встановити незначні зміни гістоархітектоніки паренхіми печінки у піддослідних тварин [1]. Так, середній розмір частки печінки більше виражений у великої рогатої худоби і займає  $0,785 \pm 0,037 \text{ мм}^2$ , найменший у курей –  $0,345 \pm 0,025 \text{ мм}^2$ .

Згідно з проведеними гістоморфометричними дослідженнями, встановлено незначні зміни морфометричних параметрів печінки у дослідних тварин [2]. Так, середня площа часточки печінки у ВРХ становить  $0,7852 \pm 0,041 \text{ мм}^2$ , у овець такий показник є в 1,28 раза меншим і дорівнює відповідно  $0,6143 \pm 0,066 \text{ мм}^2$ . Кількість часточок на одиницю площі ( $14 \text{ мм}^2$ ), навпаки, є більшою у овець –  $17,8 \pm 2,88$  одиниць і, достовірно ( $P < 0,01$ ) майже у 1,4 раза такий показник є меншим ( $12,4 \pm 1,99$  од.) у ВРХ. Діаметр поперечного зрізу центральної вени часточок печінки при цьому становить  $80,1 \pm 6,4 \text{ мкм}$  у ВРХ та  $72,8 \pm 5,8 \text{ мкм}$  у овець.

Результати мікроскопічного дослідження печінки поросят, які утримувалися з використанням різних комплексів дезінфектантів показали, що у поросят контрольних груп в печінці ознаки помірно вираженої зернистої дистрофії гепатоцитів, спостерігався пікноз та рексис ядра [5]. Патанатомічним дослідженням встановлено, що печінка не значно була збільшена в об'ємі, не рівномірного забарвлення, загальний колір світліший за норму, а на його поверхні ділянки глинястого, сіро-червоного забарвлення. Спостерігається в'ялість паренхіми, на розрізі не рівномірне забарвлення. Міжчасточкова сполучна тканина диференціюється не в усіх місцях, в ділянках де вона добре диференціюється видимі зміни в її будові відсутні.

**Формування цілей статті (постановка завдання).** Метою роботи було порівняльне вивчення мікроскопічної будови та морфометричних показників печінки свиней різних генотипів.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Досліджувались зразки тканини печінки чотирьох порід свиней, а саме: великої білої української селекції, великої білої зарубіжної селекції, полтавської м'ясної та миргородської при забої тварин в 100 кг.

Згідно з проведеними гістологічними дослідженнями, встановлено, що печінка свиней великої білої породи української селекції складається з одноманітних за будовою мілких тканинних комплексів – печінкових часток. Мікроскопічно печінка побудована зі сполучнотканинної строми і паренхіми. Строма органу сформована капсулою, поверх якої – серозна оболонка. У ділянці воріт печінки сполучна тканина капсули проникає



всередину органу, розгалужується і ділить орган на часточки. Печінкові частки печінки відокремлені одна від одної сполучнотканинними перетинками і мають форму шестикутника. А в місцях, де сходяться верхівки трьох часток, в сполучній тканині помітні на розрізі гілки ворітної вени, печінкової артерії, жовчного протоку, які знаходяться в сполучній тканині. Зовні печінка покрита тонкою міцною сполучнотканинною гліссоною капсулою в воротах печінки сполучна тканина капсули продовжується, подібно стовбуру дерева, в тканину органу. Всередині печінки це сполучнотканинне дерево розгалужується дуже сильно і у всіх напрямках.

При малому збільшенні видно, що клітини паренхіми, гепатоцити, розташовуються неправильними рядками, які галузяться і, направляючись від периферії частки, сходяться до її центральної вени. Між цими неправильними рядами гепатоцитів розташовуються світлі щілеподібні простори, що представляють собою синусоїди (кровоносні капіляри) печінки.

При великому збільшенні видно, що клітинна мембрана майже кожного гепатоциту хоча би де небудь, але всеж контактує з ще двома синусоїдами, кожен гепатоцит виділяє свій екзокринний секрет в каналець, що має назву жовчного капіляра. Він представляє собою щілину між клітинними мембранами двох чи декількох сусідніх гепатоцитів. Також розрізняємо ацинус – це ще менша ніж частка структурна одиниця в його склад входять частини двох сусідніх часток.

Цитоплазма гепатоцитів багата різними видами органел та включень. Ядро розташоване центрально. Ще одна особливість, що між стінками синусоїдів та гепатоцитами, що прилягають до них, існує простір Діссе.

Спостерігалася майже класична будова печінки у даної породи свиней. Гепатоцити незмінні, ніяких сторонніх включень не виявлено; простори Діссе не розширені, не містять рідини чи ін. Судини помірного кровонаповнення.

При вивченні гістологічних препаратів печінки великої білої породи зарубіжної селекції звертає на себе увагу значна схожість її будови з попередньою. Гепатоцити даної породи мають, крім зернистої дистрофії, ще й мілкокрапельну жирову, простори Діссе розширені, повнокров'я судин. Хоча загалом принципових відмінностей не встановлено.

При вивченні гістологічних препаратів печінки свиней полтавської м'ясної породи, ми бачимо гепатоцити звичайної гістоструктури, ядро

розташовано центрально, зерниста дистрофія слабо виражена, що може бути проявом вікових змін, простори Діссе незмінні.

При вивченні гістологічних препаратів печінки миргородської породи встановлено, що розташування та будова печінкової клітини залишається незмінним, простори Діссе звичайної будови, стан судин – помірно кровонаповнення.

При потрапленні в кров'яне русло будь-якої токсичної речовини печінка вражається першою, оскільки виконує функцію «хімічної лабораторії», а саме: володіє здатністю перероблювати, затримувати, перерозподіляти, засвоювати, руйнувати ті чи інші речовини, які в неї потрапляють із шлунку, а також із селезінки та інших органів і тканин.

Розлад метаболічної функції швидше веде до розвитку життєво небезпечних порушень. Враження печінки призводить до гепатозу, при якому в гепатоцитах з'являється жирова дистрофія, а в тканині печінки – осередки некрозів, в яких протікає аутолітичний розпад і з'являється жиробілковий детрит. Токсичні речовини безпосередньо діють в центральних відділах дольок. Печінка стає великою та жовтуватою, дряблою. Даний процес може завершитись розвиненням печінкової недостатності та смерті тварини.

В зразках печінки від вказаних порід свиней вище згаданих змін не було виявлено, що підтверджує той факт, що токсична речовина не потрапляла в їх організм. Тканина та стан клітин у всіх порід був однаковий. Тільки у великій білої породи зарубіжної селекції стан гепатоцитів дещо відрізнявся. Наприклад, було виявлено зернисту та мілкокрапельну жирову дистрофію гепатоцитів.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямку.** Результати досліджень дозволяють стверджувати, що печінка свиней складається з одноманітних за будовою мілких тканинних комплексів – печінкових часток. Мікроскопічно печінка побудована зі сполучнотканинної строми і паренхіми. Строма органу сформована капсулою, поверх якої – серозна оболонка. Клітини паренхіми, гепатоцити, розташовуються неправильними рядками, які галузяться і, направляючись від периферії частки, сходяться до її центральної вени. Аналіз морфологічних досліджень будови печінки досліджуваних порід свиней показав, що гепатоцити незмінні, ніяких сторонніх включень не виявлено; простори Діссе не розширені, не містять рідини. Судини помірного кровонаповнення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуральська С. В. Мікроскопічна будова та морфометричні показники печінки домашніх тварин / С. В. Гуральська, Л. П. Горальський, І. Ю. Горальська. *Вісник ЖНАЕУ*. 2014. № 2 (42), т. 1. С. 160–164.
2. Демус Н. В. Морфологія, гісто– та цитоморфометрія печінки жуйних. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*, 2018, т 20, № 83. С. 56–60.
3. Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів». URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>
4. Толок Г. А., Толок Є. В. Екологічні засади забезпечення якості та безпеки харчових продуктів. *Ефективна економіка*. 2018. № 6. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6406>
5. Шкромда О. І. Особливості морфологічної будови легень, печінки та нирок свиней за використання запропонованого комплексу дезінфікуючих засобів. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*. 2015. Вип. 30(2). С. 440–443.
6. Якубчак О. М., Хоменко В. І. Ветеринарно-санітарна експертиза з основами технології і стандартизації продукції тваринництва. К.: ТОВ Біопром 2005. 799 с.
7. Drochmans P. Isolation and subfractionation of gradients of adult rat hepatocytes. *J. Cell Biol.* 1975. V. 66. P. 1–22.
8. Loud A. V. Quantitative stereological description of the ultrastructure of normal rat liver parenchyma. *The Journal of Cell Biology*. 1978. № 37, P. 27–46.

## REFERENCES

1. Hural'ska, S.V. (2014). Mikroskopichna budova ta morfometrychni pokaznyky pechinky domashnikh tvaryn / S. V. Hural'ska, L. P. Horalskyi, I. Yu. Horalska. *Visnyk ZhNAEU*. № 2 (42), t. 1. S. 160–164.
2. Demus, N.V. (2018). Morfolohiia, histo– ta tsytomorfometriia pechinky zhuinykh . *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho*, t 20, № 83. S. 56–60.
3. Zakon Ukrainy «Pro bezpechnist ta yakist kharchovykh produktiv». Retrieved from: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>.
4. Tolok, H.A., & Tolok, Ye.V. (2018). Ekolohichni zasady zabezpechennia yakosti ta bezpeky kharchovykh produktiv. *Efektivna ekonomika*. № 6. Retrieved from: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6406>
5. Shkromada, O.I. (2015). Osoblyvosti morfolohichnoi budovy lehen, pechinky ta nyrok svynei za vykorystannia zaproponovanoho kompleksu dezinfikuiuchykh zasobiv// *Problemy zoonzhenerii ta veterynarnoi medytsyny*. Vyp. 30(2). S. 440–443.
6. Yakubchak, O.M., & Khomenko, V.I. (2005). Veterynarno-sanitarna ekspertyza z osnovamy tekhnolohii i standartyzatsii produktsii tvarynnytstva. K.: TOV Bioprom. 799 s.
7. Drochmans, P. (1975). Isolation and subfractionation of gradients of adult rat hepatocytes. *J. Cell Biol.* V. 66. P. 1–22.
8. Loud, A.V. (1978). Quantitative stereological description of the ultrastructure of normal rat liver parenchyma. *The Journal of Cell Biology*. № 37, P. 27–46.

**H. Birta**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor; **Yu. Burgu**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; **A. Tkachenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **N. Levoshko**, St. Teacher (Poltava University of Economics and Trade). **Features of the structure of the liver of pigs of different genotypes**

**Abstract.** The liver plays an important role in digestion, metabolism, immunobiological reactions, etc. The liver is the largest gland of the body with complex and diverse functions. It produces bile, participates in lipid, protein, carbohydrate and other metabolism. It synthesizes blood plasma proteins, neutralizes substances of nitrogenous metabolism harmful to the body, which enter the blood from the digestive organs.

The aim of the work was a comparative study of the microscopic structure and morphometric parameters of the liver of pigs of different genotypes.

Liver tissue samples of four breeds of pigs were studied, namely: large white Ukrainian breed, large white foreign breed, Poltava butcher and Myrhorod pig at slaughter of 100 kg of animals.

The results of the research showed that the liver of pigs consists of uniform small tissue complexes – liver lobes. Microscopically, the liver is made of connective tissue stroma and parenchyma. The stroma of the organ is formed by a capsule, on top of which is a serous membrane.

The analysis of morphological studies of the structure of the liver of the studied breeds of pigs showed that hepatocytes are unchanged, no extraneous inclusions were found; the spaces of Disse are not expanded, do not contain fluid. Vessels of moderate blood supply.

**Key words:** genotype, liver, structure, histopreparation, hepatocyte, liver lobe, state of blood vessels, spaces of Disse.

# ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ПРОМИСЛОВИХ ТОВАРІВ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 499.86.676.034

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-6>

## ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Г. І. ГОЛОДУК, кандидат технічних наук, доцент;

Н. М. ГУРГУЛА, старший лаборант кафедри товарознавства та експертизи в митній справі  
(Луцький національний технічний університет)

**Анотація.** Будівельний сектор рухається до нових підходів енергоефективного проектування, які включають не лише покращення теплових характеристик конструкцій, але й зменшення використаної енергії. Розробка теплоізоляційних матеріалів на основі відходів рослинництва сприяє таким підходам, оскільки їх використання може призвести до зменшення попиту на енергію, її використання, разом з іншими корисними екологічними аспектами, такими як скорочення виснаження невідновлюваних ресурсів та утворення відходів.

На сьогодні існує декілька комерційних прикладів використання біоматеріалів у будівництві, які здебільшого базуються на промислових волокнах (льон, коноплі, кенаф тощо), деревині чи овечий вовні. Використання побічних продуктів харчових культур мени поширене, але може бути цікавою альтернативою для деяких країн, таких як Україна, де промислове виробництво волокна є дуже незначним. Ці побічні продукти, особливо солома зернових, використовувалися і все частіше використовуються в будівництві як армування композитних матеріалів, оздоблення палуб, внутрішніх перегородок або структурних перекриттів. У цьому дослідженні запропоновано їх використання в теплоізоляції будівель.

Дослідження спрямоване на вивчення можливості використання побічних продуктів, доступних в Україні, для розробки жорстких теплоізоляційних плит. У результаті для розробки було обрано три широко доступні побічні продукти рослинництва (ячмінну солому, кукурудзяну серцевину та рисове лушпиння).

Щільність і пористість, мабуть, є найбільш важливими фізичними властивостями при оцінці гігро-термічних характеристик матеріалів. Дослідження проводили до та після вибивання для кожного розміру частинок за масою та об'ємом. Випробування повторювали вісім разів для кожного зразка.

Після цього відкрити пористість усередині частинок разом із простором між частинками розраховували як 1 – об'ємна щільність/уявна щільність. Результати чітко показують різницю в пористості та формах частинок між матеріалами: у той час як видима щільність подібна, об'ємна щільність набагато більше варіюється.

**Ключові слова:** теплоізоляційні матеріали, біоматеріали, побічні продукти рослинництва, ячмінна солома, заповнювач серцевини кукурудзи, рисове лушпиння.

### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Будівельний сектор вимагає нових підходів до енергоефективного проектування, які включають не лише поліпшення теплотехнічних показників будівельних конструкцій, але й зменшення використаної енергії та матеріалів. Розробка теплоізоляційних матеріалів на органічній основі сприяє таким підходам, оскільки їх використання може призвести до зменшення як попиту на енергію, так і використання енергії разом з іншими корисними екологічними аспектами, такими, як зменшення використання невідновлюваних ресурсів і утворення відходів.

Таким чином, впровадження оптимізованих систем теплоізоляції розглядається як одна з основних стратегій підвищення їх енергоефективності та скорочення похідних викидів. Дійсно, використання теплоізоляційних матеріалів

у Європі значно зросло в попередні роки, що відкриває дискусію щодо впливу цих матеріалів не лише на споживання енергії та викиди парникових газів, але й на подальші екологічні проблеми. Як-от якість повітря в приміщенні, утворення відходів або виснаження природних ресурсів.

Для опису поточної ситуації у світовій області теплоізоляції було проведено огляд літератури існуючих екологічно чистих ізоляційних матеріалів на основі природної сировини з різними виготовленими формами та властивостями. Все більшого поширення набувають сучасні екологічно чисті утеплювачі з рослинної сировини.

Пошук і створення ефективних теплоізоляційних матеріалів на основі дешевої сировини продовжує залишатися викликом. При цьому велике значення має критерій економії паливно-енергетичних ресурсів при виробництві



теплоізоляційних матеріалів. Залежно від складу речовин, з яких виготовлені теплоізоляційні матеріали, вони за певних умов можуть впливати на утеплені поверхні, навколишнє середовище та організм людини чи тварини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки вченими Л. Дядюша, Ю. Бобровим, В. Граневим, В. Курдюмовою, Н. Гончаровим, А. Люсевим велика увага приділялась широкому використанню відходів промисловості і сільського господарства в виробництві теплоізоляційних матеріалів. Основні методи розв'язання нетрадиційних задач теплопровідності розглядаються в роботах вчених України та зарубіжжя, а саме: В. В. Скопечького, І. В. Сергієнка, Г. А. Шинкаренка, Г. В. Залужної, П. В. Черпакова, Г. Н. Дулнева, С. О. Тихомірова, Y. Sakai, E. Мітчела, Р. Уейта, R. Barnhill, J. Cavendish, W. Gordon, G. Nielson та інших.

**Формування цілей статті.** Це дослідження має на меті зробити невеликий внесок у розробку нових будівельних матеріалів на органічній основі для використання в будівельному секторі. Його завдання полягає в тому, щоб вивчити можливість використання існуючих побічних продуктів рослинництва як сировини для інноваційних розробок матеріалів, запропонувавши та дослідивши нову ізоляційну плиту на органічній основі, виготовлену з будь-яких доступних побічних продуктів рослинництва.

**Об'єкт дослідження.** Новий теплоізоляційний будівельний матеріал, виготовлений з побічних продуктів рослинництва та біополімерів, перевага якого полягає в тому, що він заснований на доступних відновлюваних матеріалах і повністю компостується.

**Методи дослідження.** Аналітичні та експериментальні методи визначення щільності органічного матеріалу; метод порівняння результатів розрахунків щільності різними методами.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Серед доступної сировини в Україні для дослідження обрано три: ячмінну солому, серцевину кукурудзи та рисове лушпиння. Матеріали відібрано через їхню доступність, а також тому, що вони мають значні морфологічні відмінності, які спонукають до їх аналізу та порівняння. Зображення кожного з досліджуваних побічних продуктів рослинництва подано на рисунку 1.



**А** **Б** **В**  
Рис. 1. Досліджувані матеріали: А – волокна ячмінної соломи; Б – заповнювач серцевини кукурудзи; В – рисове лушпиння

У цій роботі була обрана ячмінна солома, оскільки вона є найпоширенішим побічним продуктом рослинництва України. Її було отримано від регіонального виробника органічної продукції, подрібнено за допомогою молоткового млина в лабораторії та просіяно для отримання груп волокон однакового діаметру.

В даний час тільки кукурудзяна серцевина не використовується в промисловості, хоча було знайдено патент, який пропонує процедуру розділення різних частин побічних продуктів кукурудзи для виробництва різних матеріалів, таких як паперова маса, спирт або енергія. Були зроблені спроби використати серцевину як будівельний матеріал.

Для дослідження ми обрали кукурудзяну серцевину, яка була надана регіональним виробником органічної продукції ТОВ «Волинь-зерно-продукт». Її вручну видаляли зі стебла, подрібнювали молотковим млином та просівали для отримання гранул трьох різних розмірів частинок: 2; 1 та 0,5 мм.

Також для дослідження ми обрали рисове лушпиння, яке зазвичай використовується для годівлі, рисове лушпиння є побічним продуктом, який зараз мало застосовується. Завдяки високому вмісту кремнезему (близько 20%) і лігніну воно повільно розкладаються, що обмежує їх повторне використання на полях. Оскільки рисове лушпиння має високу теплотворну здатність (близько 4000 ккал/кг), його дедалі більше використовують для виробництва енергії. Однак через високий вміст кремнезему у вигляді залишків утворюється велика кількість попелу.

Рисове лушпиння, використане в цьому дослідженні, отримано від фермерського господарства СВК «Маяк». Як і у випадку з соломою, деякі властивості лушпиння відрізняються в залежності від сорту. Рисове лушпиння просівали, щоб отримати групи однакових розмірів.

Щільність і пористість, мабуть, є найбільш важливими фізичними властивостями при оцінці гіротермічних характеристик матеріалів. Характеристика пористих матеріалів зазвичай передбачає визначення загального об'єму пористості і розподілу пор за розміром. Крім того, інші специфічні аспекти: площа поверхні, морфологія і взаємозв'язок пор також важливі. Такі аспекти впливають на гіротермічні характеристики матеріалів. У цій роботі пористість сировини та композитів досліджується за допомогою різних методів, описаних нижче.

Насипну щільність трьох різних матеріалів (ячмінної соломи, А; кукурудзяної серцевини, Б; і рисового лушпиння, В) у сипучому вигляді визначали за допомогою вібраційного столу. Перед випробуванням матеріали були подрібнені та просіяні на частинки трьох різних розмірів:



2, 1 та 0,5 мм відповідно, та просушені в печі протягом 24 годин при 60°C. Після цього мірний циліндр об'ємом 500 мл помістили на вібраційний стіл і заповнили кожним матеріалом. Щільність визначали до та після вибивання для кожного розміру частинок за масою та об'ємом. Випробування повторювали вісім разів для кожного зразка.

Після цього відкриту пористість усередині частинок разом із простором між частинками розраховували як 1– об'ємна щільність/уявна щільність. Результати представлені в таблиці 1.

Результати чітко показують різницю в пористості та формах частинок між матеріалами: у той час як видима щільність подібна, об'ємна щільність набагато більше варіюється. Середня видима щільність матеріалів становить  $1509 \pm 105 \text{ кг/м}^3$ . Однак значні відмінності були виявлені в насипній щільності матеріалу, які змінювалися більш ніж у 4 рази від одного матеріалу до іншого. Важливо відзначити, що насипна щільність сипких матеріалів пояснює пористу структуру всередині частинок разом із проміжками між частинками. Таким чином, форма частинок відіграє важливу роль у кінцевій щільності матеріалу та отриманих композитів. При цьому частинки ячмінної соломи мають волокнисту форму, частинки серцевини кукурудзи мають зернисту форму, а лушпиння рису має увігнуту форму, схожу на корпус човна. Це пояснює той факт, що у випадку рисового лушпиння на об'ємну щільність значно більше впливає форма частинок, ніж в інших випадках. При подрібненні рисового лушпиння втрачається увігнута форма. Дрібні частинки рисового лушпиння складаються з плоских пластивців, які здатні компактно розташовуватися, помітно збільшуючи загальну насипну щільність. Навпаки, форма волокон ячменю та гранул серцевини кукурудзи є іншою. Таким чином, їх щільність менше залежить від розміру частинок, особливо у випадку кукурудзяної серцевини, що має розташування, яке вважається більш однорідним через ізотропію частинок. Вибиті сипучі матеріали показали вищу щільність, ніж насипані, але знову ж таки, різниця була зменшена у випадку зразків кукурудзяної

серцевини. Загалом об'ємна щільність заповнювачів кукурудзяної серцевини менше залежить від розміру частинок і ущільнення, що може бути перевагою у виробництві композитів. Крім того, об'ємна щільність серцевини кукурудзи нижча, ніж у ячмінної соломи або рисового лушпиння. Оскільки щільність є рушійним фактором теплопровідності, це важливий аспект, який слід враховувати при розробці ізоляційних матеріалів.

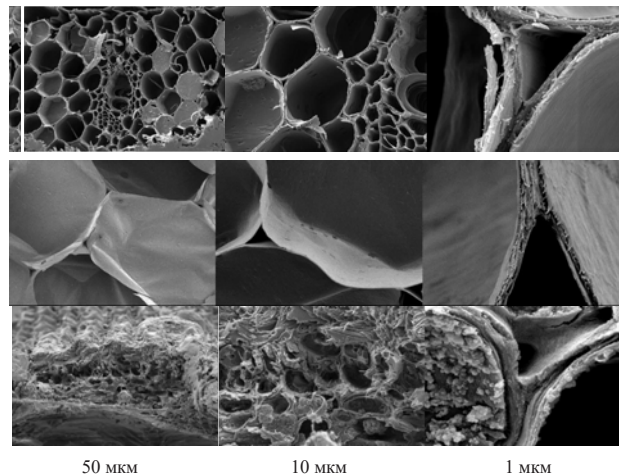


Рис. 2. Зображення тканин, присутніх у стеблах ячменю (А), стеблах кукурудзи (Б) і рисовому лушпинні (В), яке отримали за допомогою скануючого електронного мікроскопа

Відкриту пористість сипучих матеріалів розраховували за об'ємною та насипною щільністю. Як обговорювалося раніше, така пористість сильно залежить від розташування частинок і не пояснює відмінності в пористій структурі матеріалів. Таким чином, пористість усередині частинок аналізували за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Зразки розрізали лезом, щоб спостерігати поперечний та поздовжній розріз. На рисунку 2 показано пористу структуру вихідних матеріалів при 500-, 1500- і 15-кратному збільшенні (зліва направо).

Таблиця 1

Щільність і пористість відходів рослинництва

| Побічний продукт рослинництва      | Розмір, мм | Видима щільність, кг/м <sup>3</sup> | Об'ємна щільність, кг/м <sup>3</sup> |            | Пористість |            |
|------------------------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                    |            |                                     | насип                                | ущільнення | насип      | ущільнення |
| Волокна ячмінної соломи (А)        | 2          | 1404                                | 44,9±0,9                             | 58±1       | 0,96       | 0,96       |
|                                    | 1          |                                     | 54±2                                 | 68±2       | 0,96       | 0,95       |
|                                    | 0,5        |                                     | 64±2                                 | 80±2       | 0,95       | 0,94       |
| Заповнювач серцевини кукурудзи (Б) | 2          | 1584                                | 37±1                                 | 42±1       | 0,98       | 0,97       |
|                                    | 1          |                                     | 36±1                                 | 41±1       | 0,98       | 0,97       |
|                                    | 0,5        |                                     | 37,8±0,8                             | 42,9±0,7   | 0,98       | 0,97       |
| Рисове лушпиння (В)                | 2          | 1539                                | 99±5                                 | 121±5      | 0,94       | 0,92       |
|                                    | 1          |                                     | 138±3                                | 167±3      | 0,91       | 0,89       |
|                                    | 0,5        |                                     | 230±4                                | 277±4      | 0,85       | 0,82       |

Ячмінна солома утворена сумішшю тканин стебла та листя, які утворені паренхіматичними клітинами діаметром від 25 до 45 мкм і кількома судинними пучками волокнистої структури. Загальна товщина клітинної стінки та плазматичної мембрани паренхіматичних клітин становить приблизно 0,6 мкм, а міжклітинний простір має діаметр приблизно 3 мкм. З іншого боку, серцевина кукурудзи в основному утворена паренхіматозними клітинами, оскільки судинні пучки, які в основному присутні в кортикальній частині стебла, видаляються шляхом декортикації. Цей факт пояснює, що подрібнені частинки мають волокнисту форму у випадку ячменю та зернисту у випадку серцевини. Клітини, що утворюють тканину паренхіми, більші у кукурудзяної серцевини (діаметр близько 100–140 мкм), а клітинні стінки тонші (ширина близько 0,4 мкм), що вказує на більш високу макропористість цього матеріалу. Міжклітинні простори також більші, ніж у ячмінної соломи, з діаметром близько 10 мкм. Клітини з'єднані між собою плазмодесмами діаметром близько 2 мкм. Рисове лушпиння має менш пористу структуру з клітинами діаметром від 2 до 5 мкм і товщиною стінок 3 мкм. Крім того, поверхня клітинних стінок рисового лушпиння значно відрізняється від поверхні ячмінної соломи та серцевини кукурудзи, оскільки вони мають велику кількість виступів, що відповідають кремнеземним інкрустаціям.

Розподіл пор матеріалів за розміром визначали за допомогою методики ртутної порозиметрії. Діапазон аналізованих розмірів пор коливається від 10 нм до 100 мкм. Важливо відзначити, що використана техніка базується на простій пористій моделі. Вважається, що пориста структура утворена з'єднаними між собою сферичними порами різного розміру. Таким чином, результати показують розподіл розмірів еквівалентних сферичних пор, а не їх фактичний розмір. Однак результати корисні для порівняння. З результатів можна помітити, що рисове лушпиння має меншу пористість, ніж решта матеріалів. Пористість рисового лушпиння унімодальна, з піком у 8 мікрон, що, ймовірно, відповідає діаметру клітинного просвіту, що спостерігається на зображеннях скануючого електронного мікроскопа. В інших діапазонах він практично непористий. Навпаки, ячмінна солома та серцевина кукурудзи мають високу пористість. Обидва матеріали мають бімодальну пористість з піками приблизно 0,5 і 10 мікрон у випадку ячменю та 2 і 10 мікрон у випадку серцевини кукурудзи. Такі піки відповідають діаметрам плазмодесми та міжклітинних просторів відповідно. Форма піків вказує на більш однорідну пористу структуру у випадку серцевини кукурудзи, ніж у випадку соломи ячменю, що узгоджується із спостереженнями скануючого

електронного мікроскопа. Результати показують, що середній діаметр пор зразків кукурудзяної серцевини вищий, ніж у ячмінної соломи та рисового лушпиння, що видно із зображень електронного мікроскопа.

Площа поверхні матеріалів на одиницю маси та на одиницю об'єму представлені в таблиці 2.

Таблиця 2  
Результати дослідження площі поверхні матеріалів на одиницю маси та на одиницю об'єму

| Побічний продукт рослинництва | Площа поверхні матеріалів |                                |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|                               | м <sup>2</sup> /г         | м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> |
| А                             | 0,463                     | 0,034                          |
| Б                             | 2,211                     | 0,032                          |
| В                             | 0,451                     | 0,014                          |

Незважаючи на виражену пористість, ячмінна солома та рисове лушпиння мають однакову площу поверхні на одиницю маси. Навпаки, кукурудзяна серцевина має найбільшу площу поверхні, яка майже у 5 разів більша, ніж у двох інших матеріалів. Це вказує на можливу більш високу реакційну здатність матеріалу зі зв'язуючими і більшу гігроскопічність. Результати, виражені на одиницю об'єму, показують, що площа поверхні ячмінної соломи та серцевини кукурудзи однакова, тоді як площа поверхні рисового лушпиння становить приблизно одну третину від двох інших матеріалів.

**Висновок із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Основною метою дослідження була розробка нового теплоізоляційного будівельного матеріалу, виготовленого з побічних продуктів рослинництва.

З цією метою проведений аналіз наявності різних побічних продуктів рослинництва в Україні згідно з гіпотезою, що це має відношення до будівельної галузі та що експлуатація такої сировини може бути здійснена стійким способом без шкоди для продуктивності ґрунтів або харчового виробництва. Через складність встановлення надійних значень для аналізу було прийнято досить консервативний підхід, коли наявні побічні продукти рослинництва відповідають лише 37% щорічно вироблених побічних продуктів. Виявлено, що побічні продукти ячменю, пшениці, кукурудзи, рису та соняшнику є найпоширенішими, що становить 77% від загальної кількості доступних побічних продуктів рослинництва в Україні (6,6 млн т·на рік). Аналіз показує, що стале виробництво ізоляційних матеріалів на основі побічних продуктів рослинництва є можливим, оскільки кількість побічних продуктів рослинництва, доступних щорічно, у 5 разів перевищує кількість побічних

продуктів рослинництва, необхідних для виробництва ізоляції для всього попиту будівельного сектору в Україні.

Перспективою подальших досліджень є вивчення можливості промислового виробництва

ізоляційних плит на основі побічних продуктів рослинництва та їх якісних характеристик. Проведення оцінки нового матеріалу у порівнянні з комерційно доступними біоматеріалами та іншими звичайними ізоляційними матеріалами.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голодюк Г. І., Дудла І. О., Мікуліч А. Б. Огляд ринку теплоізоляційних матеріалів на основі рослинної сировини. Товарознавчий вісник : зб. наук. праць ЛНТУ. 2018. Вип. 11. С.92–100.
2. Голодюк Г. І., Гургула Н. М. (2022). Дослідження теплоізоляційних властивостей матеріалів на основі рослинної сировини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*, (1), 54–59.
3. Передові системи термомодернізації будівель і споруд: навч. посіб. / Надія Іволжатова, Тетяна Дрімко, Тарас Холеван та ін. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 16 с.
4. Muthuraj R, Lacoste C, Lacroix P and Bergeret A. 2019 Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibres and textile waste fibres: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, Elsevier 35 pp. 238–245.
5. Bakatovich A, Davydenko N and Gaspar F 2018 Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste *Energy & Buil.* 180 pp 72–82.
6. Tůmová E, Drochytka R, Černý V and Čada P 2017 Development of organic and biodegradable insulating material for ETICS 18th Int. Conf. CRRB Pro. Eng. 195 pp. 81–7.
7. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials. *Energies* 2023, 16, 4676. <https://doi.org/10.3390/en16124676>.
8. Види утеплювачів їх властивості та характеристики : веб-сайт. URL: <https://blokbud.lviv.ua/blog/vudutepluvachiv/> (дата звернення 21.03.2024).
9. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів : конспект лекцій / уклад.: Гелевера О.Г. Київ: КНУБА, 2023. 224 с.
10. Latif Eshrar, Bevan Rachel, Woolley Tom Thermal Insulation Materials for Building Applications. 2019. 208 p. URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/isbn/9780727763518>.

### REFERENCES

1. Holodiuk, H. I., Dudla, I. O. & Mikulich, A. B. (2018). Ohliad rynku teploizoliatsiinykh materialiv na osnovi roslynnoi syrovyny [Overview of the market of thermal insulation materials based on vegetable raw materials]. *Tovarnoznavchyi visnyk : zb. nauk. prats.* Collected papers. (11), pp. (92–100). Lutsk : LNTU [in Ukrainian].
2. Holodiuk, H. I. & Hurchula, N. M. (2022). Doslidzhennia teploizoliatsiinykh vlastyvostei materialiv na osnovi roslynnoi syrovyny [Study of heat-insulating properties of plant-based materials]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli.* Collected papers. Series: Tekhnichni nauky, (1), (pp. 54–59). Poltava: PUET [in Ukrainian].
3. Ivolzhatova, N., Drimko T., Kholevan T., Berkuta V., Pyvovarova O., & Borysiuk M, et al. (2020). *Peredovi systemy termomodernizatsii budivel i sporud: [navch. posib.]*. Kyiv : Vydavnychiy dim «Helvetyka» [in Ukrainian].
4. Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P. & Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibres and textile waste fibres: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, Elsevier, 35, 238–245.
5. Bakatovich, A., Davydenko, N. & Gaspar, F. (2018). Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste *Energy & Buil.* 180, 72–82.
6. Tůmová, E., Drochytka, R., Černý, V. & Čada, P. (2017). Development of organic and biodegradable insulating material for ETICS. *18th Int. Conf. CRRB Pro. Eng.*, 195, 81–7.
7. Cosentino, L., Fernandes, J. & Mateus, R. (2023). A Review of Natural Bio-Based Insulation *Materials*. *Energies*, 16, 4676. <https://doi.org/10.3390/en16124676>
8. Vidy uteplivachiv yikh vlastyvoosti ta kharakterystyky : veb-sait. URL: <https://blokbud.lviv.ua/blog/vudutepluvachiv/> (accessed 21 May 2024) [in Ukrainian].
9. Helevera, O. H. (Eds.). (2023). *Osnovy vyrobnytstva stinovykh ta ozdoblivalnykh materialiv [Basics of reliability of wall and finishing materials]*: Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].
10. Latif Eshrar, Bevan Rachel, Woolley Tom Thermal Insulation Materials for Building Applications. 2019. 208 p. URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/isbn/9780727763518>.

**G. Golodyuk**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **N. Gurgula**, Laboratory Assistant (Lutsk National Technical University). **Determination of the density of organic raw material for the manufacture of bio thermal insulation material**

**Abstract.** The construction sector is moving towards new energy-efficient design approaches, which include not only improving the thermal performance of structures, but also reducing the energy used. The development of thermal insulation materials based on crop production waste contributes to such approaches, as their use can lead

to a reduction in both energy demand and use, along with other beneficial environmental aspects, such as reducing the depletion of non-renewable resources and the generation of waste.

To date, there are several commercial examples of the use of biomaterials in construction, which are mostly based on industrial fibers (flax, hemp, kenaf, etc.), wood or sheep's wool. The use of by-products of food crops is less common, but can be an interesting alternative for some countries, such as Ukraine, where industrial fiber production is very small. These by-products, especially cereal straw, have been and are increasingly being used in construction as reinforcement for composite materials, decking, interior partitions, or structural overlays. This study proposes their use in thermal insulation of buildings.

The study is aimed at studying the possibility of using by-products available in Ukraine for the development of rigid thermal insulation boards. As a result, three widely available plant by-products (barley straw, corn kernel and rice husk) were selected for development.

Density and porosity are probably the most important physical properties when evaluating the hygrothermal characteristics of materials. Studies were performed before and after knocking out for each particle size by mass and volume. The test was repeated eight times for each sample.

The open porosity within the particles together with the interparticle space was then calculated as  $1 - \text{bulk density} / \text{apparent density}$ . The results clearly show the difference in porosity and particle shapes between the materials: while the apparent density is similar, the bulk density varies much more.

**Key words:** heat-insulating materials, biomaterials, plant by-products, barley straw, corn core filler, rice husk.



## КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-7>**ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ  
З ТЕМИ «АРИФМЕТИЧНІ КОМАНДИ МОВИ ASSEMBLER»  
ДИСЦИПЛІНИ «АРХІТЕКТУРА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ»****О. В. ОЛЬХОВСЬКА**, кандидат фізико-математичних наук, доцент;**О. О. ЧЕРНЕНКО**, кандидат фізико-математичних наук, доцент;**Т. О. ПАРФЬОНОВА**, кандидат фізико-математичних наук, доцент;**Є. І. АВРАМЕНКО**, магістр напрямку «Комп'ютерні науки»  
(Полтавський університет економіки і торгівлі)

**Анотація.** *Мета статті* – дослідження методів програмної реалізації тренажеру, який дозволить ефективно навчати та вдосконалювати навички використання арифметичних команд мови Assembler. **Методика дослідження.** Засоби для створення, редагування сучасних вебзастосунків і програм для хмарних систем Visual Studio Code, відкрита JavaScript бібліотека для створення інтерфейсів користувача React, середовище розробки Create React App. **Результати.** У ході розробки тренажеру з вивчення арифметичних команд мови Assembler було проведено значне дослідження алгоритмів та методів реалізації, яке включало в себе аналіз існуючих рішень, визначення вимог до програми, розробку архітектури, вибір технологій, програмування та тестування.

Під час аналізу існуючих тренажерів для вивчення мови Assembler було виявлено, що більшість з них надають можливість вивчати та тестувати загальні поняття мови Assembler, але децю обмежені в розмаїтості вправ та завдань, особливо у режимі виконання арифметичних команд. Також багато існуючих рішень мають застарілий інтерфейс та обмежені можливості інтерактивності.

Розроблено архітектурну частину тренажеру. Враховуючи специфіку тренажеру для навчання арифметичним командам мови Assembler, до архітектурної структури включено наступні компоненти: користувацький інтерфейс, модуль візуалізації, систему зберігання прогресу користувача, модуль навчання, модуль тестування, модуль виконання завдань. Детально описано реалізацію основних компонентів, які були визначені в архітектурній структурі. **Практична значущість результатів дослідження.** Використання навчального продукту дозволить студентам та фахівцям отримати практичний досвід роботи з мовою низького рівня, розширити свої знання у галузі архітектури обчислювальних систем та підвищити рівень володіння програмуванням.

**Ключові слова:** Assembler, навчальний інструмент, арифметичні операції, програмна реалізація.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями.** У сучасному світі інформаційних технологій, де обчислювальні системи відіграють важливу роль у всіх сферах життя, розуміння архітектури комп'ютерів та операційних принципів є критично важливим для професійного зростання та успіху в галузі програмування, системного адміністрування та інженерії програмного забезпечення. Практичні навички роботи з низькорівневими операційними системами та мовами програмування, зокрема мовою Assembler, відіграють ключову роль у розробці швидкодіючих, ефективних та надійних програм [1–9].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Під час аналізу існуючих тренажерів для вивчення

мови Assembler було виявлено, що більшість з них надають можливість вивчати та тестувати загальні поняття мови Assembler, але децю обмежені в розмаїтості вправ та завдань, особливо у режимі виконання арифметичних команд. Також багато існуючих рішень мають застарілий інтерфейс та обмежені можливості інтерактивності.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є програмна реалізація тренажеру, який дозволить ефективно навчати та вдосконалювати навички використання арифметичних команд мови Assembler. Розробка такого тренажеру дозволить студентам та фахівцям отримати практичний досвід роботи з мовою низького рівня, розширити свої знання у галузі архітектури обчислювальних систем та підвищити рівень володіння програмуванням.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** При реалізації тренажера для навчання арифметичним командам мови Assembler важливо детально описати реалізацію основних компонентів, які були визначені в архітектурній структурі.

В кожному компоненті першим кроком імпортуються бібліотеки та інші компоненти, що використовуються [7]. Головним є App.js, який управляє станом додатка та відображає відповідні компоненти в залежності від значення mode. З нього і розпочнемо.

```
import React, { useState } from "react";
import LearningMode from "./LearningMode";
import TestingMode from "./TestingMode";
import TaskMode from "./TaskMode";
import './App.css';
```

Використовується import для завантаження необхідних бібліотек та компонентів LearningMode, TestingMode, TaskMode. Також підключається таблиця стилів App.css.

Створюються різні стани (mode, finishMode, time, rightAnswer, wrongAnswer) і функції для їх зміни (setMode, setFinishMode, setTime, setRightAnswer, setWrongAnswer, startHome, startLearning, startTesting, startTask, startResult) з використанням хуків стану (useState) [8].

Для рендерингу компонентів в залежності від mode використовується конструкція умовного рендерингу. Залежно від значення mode відображається відповідний компонент: MainMenu, LearningMode, TestingMode, TaskMode або Result.

Кінець файлу вказує, що App експортується для використання в інших частинах програми.

Компоненти головного меню і виведення результатів реалізовано також в App.js.

MainMenu відображає початковий екран з інформацією про додаток та, при натисканні на кнопку "Розпочати", переходить до відображення іншого набору кнопок для вибору режиму (навчання, тестування, завдання).

```
function MainMenu({ onStartLearning, onStartTesting, onStartTask }) {
  const [changeButton, setChangeButton] = useState(false);

  const startMode = () => {
    setChangeButton(true);
  };
}
```

Компонент отримує об'єкт props, який містить три функції: onStartLearning, onStartTesting, onStartTask. Ці функції передаються компоненту ззовні [9]. Змінна changeButton визначає, чи потрібно показувати початкову кнопку чи набір

кнопок після натискання "Розпочати". Функція startMode встановлює значення changeButton в true, що призведе до зміни відображення кнопок у компоненті.

В залежності від значення changeButton відображається або одна кнопка "Розпочати", або набір кнопок для навчання, тестування та завдань. Рендеринг також включає текстові елементи, які виводять інформацію про тему та розробника.

Result взаємодіє з користувачем, надаючи звіт про його успішність та рекомендації для подальшого навчання.

```
function Result({ mode, timer, onStartHome, onStartTesting, onStartTask, righthCount, wrongCount }) {
  let count = righthCount / (righthCount + wrongCount);
```

Функція компоненту Result приймає параметри, які передаються в компонент ззовні: mode, timer, onStartHome, onStartTesting, onStartTask, righthCount, wrongCount. Обчислюється відсоток правильних відповідей. Це використовується для визначення рівня успішності користувача.

```
return (
  <div className="main">
    <h1>Оцінка та підсумок</h1>
    <p>Затрачений час на виконання: {timer}</p>
    <p>Правильних відповідей: {righthCount}</p>
    <p>Неправильних відповідей: {wrongCount}</p>
    {count >= 0.8 && <h3>Відмінно! ...</h3>}
    {count < 0.8 && count >= 0.6 && <h3>Добре зроблено! ...</h3>}
    {count < 0.6 && <h3>Є деяке місце для покращення. ...</h3>}
    <p><strong>Рекомендації для подальшого навчання чи практики:</strong></p>
    <ul>
      <li>Читати більше літератури та ресурсів з Assembler.</li>
      <li>Виконувати більше практичних завдань та вправ.</li>
      <li>Розглянути вивчення інших мов програмування або архітектуру процесора.</li>
    </ul>
    <div className="row-position">
      <button className="button" onClick={mode === "test" ? onStartTesting : onStartTask}>Розпочати знову</button>
      <button className="button" onClick={onStartHome}>Вихід</button>
    </div>
  </div>
);
```

У цьому фрагменті коду відбувається рендеринг JSX для компонента Result. Компонент виводить інформацію про результати тестування, включаючи час, кількість правильних та неправильних відповідей. Також виводиться рекомендація в залежності від відсотка правильних відповідей. Кнопки «Розпочати знову» та «Вихід» дозволяють користувачеві перейти знову до тестування чи завдань або повернутися до початкового екрану.

Компонент LearningMode відображає режим навчання, надає можливість завантажити матеріали і вийти до головного меню.

```
import React from "react";
import Theory from './theory.pdf';
```

У цьому розділі використовується import для завантаження бібліотеки React та ресурсу, який є PDF-файлом з ім'ям theory.pdf.

```
function LearningMode({ onStartHome }) {
  const downloadFile = () => {
    const pdfUrl = Theory;
    const link = document.createElement("a");
    link.href = pdfUrl;
    link.download = "theory"; // specify the filename
    document.body.appendChild(link);
    link.click();
    document.body.removeChild(link);
  };
};
```

Функція `LearningMode` отримує параметр `onStartHome`, який є функцією, переданою ззовні і використовується для повернення користувача до початкового екрану. Функція `downloadFile` відповідає за завантаження файлу при натисканні на кнопку «Завантажити». Спочатку вона створює новий елемент `<a>` (посилання), встановлює йому властивості `href` та `download` для вказання шляху до файлу та ім'я файлу, додає це посилання до тіла документа, симулює клік по посиланню та видаляє його з тіла документа після завантаження.

```
return (
  <div className="main-theory">
    <h2>Режим навчання</h2>
    { /* Матеріал */ }
    <div className="row-position">
      <button className="button" onClick={downloadFile}>Завантажити</button>
      <button className="button" onClick={onStartHome}>Вихід</button>
    </div>
  </div>
);
```

У цьому фрагменті коду відбувається рендеринг JSX для компоненту `LearningMode`. Відображається заголовок «Режим навчання», матеріал і дві кнопки: «Завантажити», яка викликає функцію `downloadFile`, і «Вихід», яка викликає функцію `onStartHome`.

Оскільки в тестуванні і завданнях використовується таймер, то розглянемо його спочатку. Компонент `Timer` створює таймер, який можна включити та виключити, а також виводить час у форматі вигляду.

Функція `Timer` отримує два параметри: `isRunning` (булеве значення, яке вказує, чи таймер повинен бути ввімкнений) та `onStop` (функція, яка буде викликана при зупинці таймера). Використовується хук стану `useState` для створення змінної `time` та функції `setTime`, яка дозволяє змінювати значення стану. Також визначається функція `formatTime`, яка конвертує час з мілісекунд у рядок у форматі «хвилини:секунди».

```
useEffect(() => {
  let intervalId;

  if (isRunning) {
    intervalId = setInterval(() => {
      setTime((prevTime) => prevTime + 10);
    }, 100);
  }

  return () => {
    clearInterval(intervalId);
    onStop(formatTime(time));
  };
}, [isRunning, onStop, time]);
```

Використовується хук ефекту `useEffect`, який спрацьовує при зміні значень `isRunning`, `onStop` або `time`. Усередині ефекту визначається інтервал, який додає 10 мілісекунд до значення `time` кожні 100 мілісекунд, якщо `isRunning` встановлено в `true`. При зупинці таймера викликається функція `onStop` з передачею форматowanego часу.

```
return (
  <div>
    <p>Час: {formatTime(time)}</p>
  </div>
);
```

Компонент повертає JSX, який відображає час у форматі вигляду.

Розглянемо `TestingMode` і `TaskMode`, що відображають режими тестування і завдань відповідно.

```
function TestingMode({ onStartHome }) {
  const questions = [
    {
      question:
        "Яка команда використовується для виконання арифметичної операції додання у мові Assembler?",
      instructions: "",
      options: ["ADD", "SUB", "MUL", "DIV"],
      correctAnswer: "ADD",
    },
    // Інші питання
  ];
  const [newQuestions, setNewQuestions] = useState([]);

  const [currentQuestion, setCurrentQuestion] = useState(0);
  const [userAnswer, setUserAnswer] = useState("");
  const [feedback, setFeedback] = useState("");
  const [rightAnswer, setRightAnswer] = useState(0);
  const [wrongAnswer, setWrongAnswer] = useState(0);
  const [timerValue, setTimerValue] = useState("");
  const [runTimer, setRunTimer] = useState(true);
};
```

У цьому розділі використовується хук стану `useState` для створення змінних стану компоненту.

Зокрема, створені змінні для збереження нових питань (`newQuestions`), номеру поточного питання (`currentQuestion`), відповіді користувача (`userAnswer`), зворотного зв'язку щодо відповіді (`feedback`), кількості правильних (`rightAnswer`) і неправильних (`wrongAnswer`) відповідей, значення таймера (`timerValue`), стану виконання таймера (`runTimer`), а також флагу для відображення/приховування зворотного зв'язку (`hideFeedback`). В змінній `question` оголошено перелік питань з варіантами відповіді і правильною відповіддю.

```
const handleStopTimer = (time) => {
  setTimerValue(time);
};
```

Функція `handleStopTimer` викликається, коли таймер зупиняється, та зберігає час у стані `timerValue`.

```
const handleNext = () => {
  if (userAnswer === questions[currentQuestion].correctAnswer) {
    setFeedback(<h4 className="green-text">Відповідь правильна!</h4>);
    setRightAnswer(rightAnswer + 1);
  } else {
    setFeedback(<h4 className="red-text">Відповідь неправильна!</h4>);
    setWrongAnswer(wrongAnswer + 1);
  }
  if (currentQuestion < questions.length - 1) {
    setUserAnswer("");
    const newQuestion = {
      question: questions[currentQuestion].question,
      instructions: questions[currentQuestion].instructions,
      options: questions[currentQuestion].options,
      userAnswer: userAnswer,
    };
    setNewQuestions([...newQuestions, newQuestion]);
    setCurrentQuestion(currentQuestion + 1);
  } else {
    setRunTimer(false);
    onStartHome("test", timerValue, rightAnswer, wrongAnswer);
  }
};
```

Функція `handleNext` відповідає за обробку відповідей користувача, виведення зворотного зв'язку, підрахунок правильних та неправильних відповідей, а також перехід до наступного питання чи завершення тесту.

У цьому блоці коду перевіряється, чи відповідь користувача (`userAnswer`) співпадає з правильною відповіддю (`questions[currentQuestion].correctAnswer`). В залежності від результату виводиться відповідне повідомлення у стан `feedback` та збільшується кількість правильних чи неправильних відповідей (`rightAnswer` або `wrongAnswer`).

Якщо `currentQuestion` менше, ніж кількість питань (`questions.length - 1`), то оновлюється стан для наступного питання. Зокрема, встановлюється порожня відповідь (`setUserAnswer("")`), створюється об'єкт нового питання (`newQuestion`) з інформацією про поточне питання та відповідь користувача, додається нове питання до списку `newQuestions` та оновлюється номер поточного питання (`setCurrentQuestion(currentQuestion + 1)`).

Якщо `currentQuestion` вже останнє, то зупиняється таймер (`setRunTimer(false)`) і викликається функція `onStartHome`, яка повертає користувача до головного меню та передає результати тестування ("`test`", `timerValue`, `rightAnswer`, `wrongAnswer`).

```
const div = useRef(null);
useEffect(() => {
  if (div.current) {
    div.current.scrollToView({ behavior: "smooth", block: "end" });
  }
}, [currentQuestion]);

const [hideFeedback, setHideFeedback] = useState(true);
useEffect(() => {
  const timeoutId = setTimeout(() => {
    setHideFeedback(false);
  }, 1500);

  return () => {
    clearTimeout(timeoutId);
    setHideFeedback(true);
  };
}, [feedback]);
```

У цьому розділі використовуються хуки `useEffect` для виконання певних дій при зміні значень `currentQuestion` та `feedback`. А саме, автоматична прокрутка до останнього питання та відображення зворотного зв'язку.

```
return (
  <div className="main" ref={div}>
    <QuestionList newQuestions={newQuestions} />
    { /* Вміст компонента */ }
  </div>
);
```

У цьому фрагменті відбувається рендеринг JSX для компонента `TestingMode`. В компоненті відображається номер питання, саме питання, опції відповідей, таймер, зворотний зв'язок та кнопка для переходу до наступного питання.

```
function QuestionList({ newQuestions }) {
  return (
    <div className="main-test">
      { /* Вміст компонента */ }
    </div>
  );
}
```

Цей компонент відображає інформацію про попередні питання та відповіді, які були задані під час тестування.

```
function TaskMode({ onStartHome }) {
  const tasks = [ /Завдання/ ];
  const [newTasks, setNewTasks] = useState([]);

  const [currentTask, setCurrentTask] = useState(0);
  const [userCommands, setUserCommands] = useState([]);
  const [feedback, setFeedback] = useState("");
  const [rightAnswer, setRightAnswer] = useState(0);
  const [wrongAnswer, setWrongAnswer] = useState(0);
  const [timerValue, setTimerValue] = useState("");
  const [runTimer, setRunTimer] = useState(true);
  const [isButtonDisabled, setIsButtonDisabled] =
    useState(Array(tasks[0].commands.length).fill(false));
```



Відповідно до компоненту `TestingMode` в `TaskMode` спочатку оголошуються завдання, кожне з яких містить текстовий опис, фрагмент коду та правильний порядок виконання команд. Потім використовуються різні стани та хуки для відстеження поточного стану виконання завдань, введених користувачем команд, та збереження результатів.

Деякі функції обробки подій та ефекти аналогічні, тому їх не розглядаємо.

```
const handleClick = (command, index) => {
  setUserCommands([...userCommands, command]);

  const updatedButtonStates = [...isButtonDisabled];
  updatedButtonStates[index] = true;
  setIsButtonDisabled(updatedButtonStates);
};
```

Цей код допомагає в управлінні станом вибору команд в режимі виконання завдань, запобігаючи повторному вибору та відключаючи вже вибрані кнопки.

```
const shuffleArray = (array) => {
  const shuffledArray = [...array];
  for (let i = shuffledArray.length - 1; i > 0; i--) {
    const j = Math.floor(Math.random() * (i + 1));
    [shuffledArray[i], shuffledArray[j]] = [shuffledArray[j], shuffledArray[i]];
  }
  return shuffledArray;
};
const [shuffledCommands, setShuffledCommands] =
  useState(shuffleArray(tasks[0].commands));
```

Після створення функції перемішування масиву, її результат використовується для ініціалізації стану `shuffledCommands` у компоненті за допомогою хука `useState`. Таким чином, на початку виконання компонента `TaskMode` масив команд із першого завдання перемішується, і результат зберігається у стані `shuffledCommands`. Це дає можливість представляти кнопки з перемішаним порядком команд для кожного завдання.

```
const handleNext = () => {
  if (userCommands.join("") === tasks[currentTask].commands.join("")) {
    setFeedback(<h4 className="green-text">Відповідь правильна!</h4>);
    setRightAnswer(rightAnswer + 1);
  } else {
    setFeedback(<h4 className="red-text">Відповідь неправильна!</h4>);
    setWrongAnswer(wrongAnswer + 1);
  }

  if (currentTask < tasks.length - 1) {
    setUserCommands([]);
    //setFeedback("");
    const newTask = {
      task: tasks[currentTask].task,
      code: tasks[currentTask].code,
      userAnswer: userCommands.join(""),
    };
    setNewTasks([...newTasks, newTask]);
    setCurrentTask(currentTask + 1);
    setShuffledCommands(shuffleArray(tasks[currentTask+1].commands));
    setIsButtonDisabled(Array(tasks[currentTask].commands.length).fill(false));
  } else {
    setFeedback("Ви завершили всі завдання!");
    setRunTimer(false);
    onStartHome("task", timerValue, rightAnswer, wrongAnswer);
  }
};
```

Функція `handleNext` відповідає за обробку події «Далі» в режимі виконання завдань.

Визначається, чи відповідь користувача правильна чи ні. Для цього порівнюється рядок, який представляє вибрані команди користувача (`userCommands.join("")`) з рядком команд для поточного завдання (`tasks[currentTask].commands.join("")`).

Перевіряється, чи є ще завдання для виконання. Якщо так, тоді налаштовуються стани для переходу до наступного завдання, включаючи очищення вибраних користувачем команд, додавання інформації про поточне завдання до списку вже виконаних, оновлення завдання, яке відображається користувачу, перемішування команд для нового завдання та відновлення стану кнопок. Якщо всі завдання виконані, режим виконання завдань завершується, і викликається функція `onStartHome` для повернення до головного меню та передачі результатів.

```
return (
  <div className="main" ref={div}>
    <h2>Режим виконання завдань</h2>
    <TaskList newTasks={newTasks} />
    { /* Вміст компонента */ }
  </div>
);
```

У цьому блоці відбувається виведення на екран компонента, що містить усю інформацію про поточне завдання, таймер, зворотний зв'язок та кнопку для переходу до наступного завдання.

```
function TaskList({ newTasks }) {
  return (
    <div className="main-task">
      { /* Вміст компонента */ }
    </div>
  );
}
```

Компонент `TaskList` виводить вже виконані завдання у форматі, який дозволяє користувачеві переглядати текст завдань та порівнювати відповіді.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Розробка тренажера для вивчення арифметичних команд мови `Assembler` є лише початком у великій галузі навчання обчислювальних систем та програмування. Дана робота відкриває широкий простір для подальших досліджень та розвитку.

Подальші дослідження можуть спрямовуватися на вдосконалення і розширення функціоналу, вдосконалення інтерактивності, а також дослідження ефективності і практичності таких тренажерів у сучасному навчальному процесі та практиці програмістів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Строкань О. В., Прийма С. М., Литвин Ю. О.. *Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 186 с.
2. Матвієнко М. П. *Комп'ютерна логіка: навч. посібник*. К.: Видавництво Ліра-К, 2012. 288 с.
3. *Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології: Підручник для ВНЗ* / За ред. О.І. Пушкаря. К.: Академія, 2003. 704 с.
4. *Дистанційний курс «Архітектура обчислювальних систем»*. Сайт дистанційного навчання, Полтавський університет економіки і торгівлі. URL: <https://el.puet.edu.ua/>
5. Волошин В. В. *Основи асемблерної мови: Навчальний посібник*. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". 2012. 257 с.
6. Богданов О. В., Гусева Н. В. *Основи програмування на асемблері*. Видавництво "Літера ЛТД". 2010. 146 с.
7. React documentation. URL: <https://reactjs.org/docs/getting-started.html>
8. JavaScript MDN Web Docs. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>
9. W3Schools tutorials. URL: <https://www.w3schools.com/>

## REFERENCES

1. Strokany, O. V., Pryima, S. M., Lytvyn, Yu. O. (2019). *Kompiuterna skhemotekhnika ta arkhitektura kompiuteriv [Computer circuitry and computer architecture]*. Melitopol: TDAU. 186 p. [in Ukrainian].
2. Matviienko, M. P. (2012). *Kompiuterna lohika: navch. Posibnyk [Computer logic: education. manual]*. K.: Vydavnytstvo Lira-K. 288 p. [in Ukrainian].
3. *Informatyka. Kompiuterna tekhnika. Kompiuterni tekhnolohii: Pidruchnyk dlia VNZ (2003) [Informatics. Computer Engineering. Computer technologies: Textbook for universities]*. / Za red. O.I. Pushkaria. K.: Akademiia. 704 p. [in Ukrainian].
4. *Dystantsiyni kurs «Arkhitektura obchysliuvalnykh system» [Distance course "Architecture of computer systems"]*. Sait dystantsiinoho navchannia, Poltavskiyi universytet ekonomiky i torhivli. Retrieved from: <https://el.puet.edu.ua/> [in Ukrainian].
5. Voloshyn, V. V. (2012). *Osnovy asemblernoi movy: Navchalnyi posibnyk [Basics of assembly language: Study guide]*. Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy instytut". 257 p [in Ukrainian].
6. Bohdanov, O. V., & Husieva, N. V. (2010). *Osnovy prohramuvannia na asembleri [Basics of assembly language programming]*. Vydavnytstvo "Litera LTD". 146 p. [in Ukrainian].
7. React documentation Retrieved from: <https://reactjs.org/docs/getting-started.html>
8. JavaScript MDN Web Docs. Retrieved from: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>
9. W3Schools tutorials. Retrieved from: <https://www.w3schools.com/>

**O. Olkhovska**, PhD., Associate Professor; **O. Chernenko**, PhD., Associate Professor; **T. Parfonova**, PhD., Associate Professor; Eugene Avramenko, master's degree in Computer Science (Poltava University of Economics and Trade). **Software implementation of the educational tool on the topic "Assembler language arithmetic commands" of the discipline "Computer systems architecture"**

**Abstract.** The purpose of the article is to study the methods of software implementation of the simulator, which will allow to effectively teach and improve the skills of using arithmetic commands of the Assembler language. **Research methodology.** Tools for creating and editing modern web applications and programs for cloud systems Visual Studio Code, an open JavaScript library for creating React user interfaces, the Create React App development environment. **Results.** During the development of the simulator for learning the arithmetic commands of the Assembler language, a significant study of algorithms and implementation methods was carried out, which included the analysis of existing solutions, the definition of program requirements, the development of architecture, the selection of technologies, programming and testing.

During the analysis of existing simulators for learning the Assembler language, it was found that most of them provide an opportunity to learn and test the general concepts of the Assembler language, but are somewhat limited in the variety of exercises and tasks, especially in the mode of execution of arithmetic commands. Also, many existing solutions have an outdated interface and limited interactivity capabilities.

The architectural part of the simulator has been developed. Taking into account the specifics of the simulator for teaching Arithmetic commands of the Assembler language, the following components are included in the architectural structure: user interface, visualization module, user progress storage system, training module, testing module, task execution module. The implementation of the main components, which were defined in the architectural structure, is described in detail.

Practical significance of research results. The use of the educational product will allow students and professionals to gain practical experience with a low-level language, expand their knowledge in the field of computer system architecture, and increase their programming skills.

**Key words:** Assembler, educational tool, arithmetic operations, software implementation.

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2024-1-8>

## ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ТЕМИ «РІВНЯННЯ ТА СИСТЕМИ РІВНЯНЬ» ШКІЛЬНОГО КУРСУ МАТЕМАТИКИ

**О. О. ЧЕРНЕНКО**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,

**О. П. ДЗЮБА**, магістр спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»  
(Полтавський університет економіки і торгівлі)

**Анотація.** Навчальний тренажер – це метод інтерактивного навчання, який можна ефективно впроваджувати у різні заняття (пояснення нового матеріалу, практичні заняття) та використовувати із різною метою (отримання нових знань чи закріплення матеріалу, відпрацювання та перевірка навичок).

**Мета статті** – розробка навчального програмного забезпечення з тем шкільного курсу математики. **Методика дослідження.** Для вирішення поставлених завдань було використано огляд наявних тренажерів, проаналізовано їх переваги та недоліки. **Результати.** Проведено дослідження методів реалізації навчальних продуктів, що включало в себе визначення вимог до програми, розробку архітектури, вибір технологій, програмування та тестування.

Аналіз програмних продуктів для навчання показав, що більшість з них надають можливість вивчати окремі розділи або типи рівнянь, чи ставлять на меті лише перевірити рівень знань з теми.

Розроблено структуру навчального асистенту. Вивчено, систематизовано матеріал з обраної теми до кожного блоку застосунку. На основі розглянутих методичних джерел підібрано розв'язки типових прикладів, як методичні рекомендації до виконання практичних завдань. Грунтуючись на теоретичному матеріалі, розроблено базу тестових завдань до кожного блоку теми. Завдання включають закриті відповіді (одна правильна, чи декілька), відкриті (завдання на введення відповіді), вправи, де необхідно встановити відповідність. Завдання з покроковим виконанням контролюють учня на кожному етапі розв'язку. Наведено фрагмент алгоритму роботи навчального програмного забезпечення на прикладі одного із блоків «Квадратні рівняння».

**Практична значущість результатів дослідження.** Корисними матеріалами роботи будуть для учителів математики, репетиторів, а також учнів, які вивчають математику в школі чи дистанційно.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, рівняння, системи рівнянь, математика, алгебра, розробка, електронні засоби навчального призначення.

### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Сучасний рівень розвитку інформаційних і комунікаційних технологій, додаючи небачений динамізм розвитку суспільства, створює передумови для формування глобальної системи дистанційної освіти, відкритого інформаційного середовища з можливістю вільного, без меж та національних контекстів розповсюдження знань та інформації.

Інноваційні технології навчання, що постійно розвиваються, зокрема дистанційного навчання, у сукупності з іншими чинниками призвели до виникнення та широкого розповсюдження нової форми здобування освіти – дистанційної освіти. Одне із завдань системи освіти в сучасному суспільстві – забезпечити кожній людині вільний і відкритий доступ до освіти впродовж усього його життя, з урахуванням його інтересів, здібностей і потреб.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розвиток і впровадження інформаційно-комунікаційних технологій в освіту постійно досліджуються науковцями [1–5; 7].

Питанням використання цифрових інструментів і сервісів в умовах дистанційної освіти досліджував Коберник І., Звиняцьківська З. [1], Буряк О. [2], Биков В., Спірін О., Пінчук О. [3] та інші вчені.

Питанням про методики розв'язування прикладних задач в курсі алгебри старшої школи Віра М. Б., Скляр О. В. [4], Новікова А. О. [5] та інші.

Комп'ютер – це не лише засіб для гри, але й потужний інструмент практичної діяльності. Електронні навчальні засоби розроблені для невеликої кількості навчальних тем або взагалі для визначених підручників.

Також відомо, що формування та розвиток творчого потенціалу учнів в умовах сучасної школи можна реалізувати на основі компетентнісного підходу, який включає в себе творчу компетентність. Творча компетентність – це узагальнена характеристика особистості учня, що проявляється в здатності до нестандартного мислення, знання та навички, що дозволяють йому успішно діяти в нових для нього умовах і успішно вирішувати практичні завдання.

**Формування цілей статті.** Метою роботи є проектування навчального програмного забезпечення з теми «Рівняння та системи рівнянь» шкільного курсу математики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Серед усього різноманіття електронних засобів навчального призначення дослідники виділяють кілька груп в залежності від педагогічного завдання:



довідково-інформаційні, демонстраційно-моделюючі, контролюючі, навчально-контролюючі.

Електронні тренажери належать до групи навчально-контролюючих електронних засобів навчального призначення, які призначені для передачі змісту навчання і формування знань, умінь і навичок.

В роботі розроблено структуру навчального посібника, який стане в нагоді всім, хто хоче успішно засвоїти тему «Рівняння та системи рівнянь» відповідно до шкільної програми рівня стандарту. Матеріал викладено в логічній послідовності. Після теоретичного блоку (у вигляді презентації) рекомендується ознайомитись із зразками розв'язання типових вправ. Після кожного блоку запропоновано завдання для відпрацювання практичних навичок (інтерактивні вправи, тести). Розробка може бути корисною для учнів середніх класів.

Посібник містить чотири теоретичні блоки: лінійні рівняння та їх системи; лінійні рівняння з двома змінними та його графік; квадратні рівняння; раціональні рівняння.

До кожного теоретичного блоку підібрано завдання практичні (завдання на вибір однієї, чи декількох відповідей, завдання на встановлення відповідності, на введення відповіді з покроковим розв'язанням задачі).

При неправильній відповіді отримується підказка, яка допоможе розібратися в помилці та виправити її.

Нижче наведено фрагмент алгоритму роботи навчального програмного забезпечення на прикладі одного із блоків «Квадратні рівняння»:

**Крок 1.** Запуск навчального програмного забезпечення. Відкривається головний екран. На головному екрані користувач бачить:

- тему навчального тренажера;
- інформацію про автора розробника;
- кнопку переходу до навчання.

**Крок 2.** Перед користувачем з'являється екран з написом: «Шановний користувач! Ви вивчаєте рівняння, а цей програмний засіб вам допоможе краще закріпити свої знання, а також перевірити їх на практичних завданнях.

Нехай вам щастить в правильності відповіді та будьте уважні!»

**Крок 3.** Необхідно обрати один з блоків для подальшої перевірки своїх знань. Блоки мають наступні назви:

- Лінійні рівняння та їх системи.
- Лінійне рівняння з двома змінними та його графік.

- Квадратні рівняння.
- Раціональні рівняння.

**Блок із завданнями «Квадратні рівняння»:**

**Крок 4.** Ознайомлення з теоретичним матеріалом теми «Квадратні рівняння». Користувач має

можливість завантажити теоретичний матеріал в форматі «.pptx» у вигляді презентації.

**Крок 5.** Після ознайомлення з теоретичним матеріалом перед користувачем з'являються типові зразки розв'язку вправ.

**Крок 6.** Відривається перше питання «Яке рівняння називають квадратним?» Оберіть одну із відповідей.

А) Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа, причому  $a$  може дорівнювати 0, називається квадратним.

Б) Рівняння, в якому хоча б один із коефіцієнтів  $b$  або  $c$  дорівнює 0, називають квадратним рівнянням.

В) Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа, причому  $a \neq 0$  називається квадратним.

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа, причому  $a \neq 0$ , називається квадратним», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 7.** Відривається друге питання «Яке рівняння називають неповним квадратним?» Оберіть одну із відповідей.

А) Рівняння, в якому хоча б один із коефіцієнтів  $b$  або  $c$  дорівнює 0, називають неповним квадратним рівнянням.

Б) Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа, причому  $a$  може дорівнювати 0, називається неповним квадратним.

В) Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа, причому  $a \neq 0$  називається неповним квадратним.

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Рівняння, в якому хоча б один із коефіцієнтів  $b$  або  $c$  дорівнює 0, називають неповним квадратним рівнянням», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 8.** Відривається третє питання «Скільки коренів може мати квадратне рівняння?» Оберіть декілька відповідей.

- А) Один корінь.
- Б) Два корені.
- В) Три корені.
- Г) Немає коренів.

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Квадратне рівняння може мати один корінь, два або взагалі жодного», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 9.** Відривається четверте питання «Що таке корінь квадратного рівняння?» Оберіть одну із відповідей.

А) Коренем квадратного рівняння  $ax^2 + bx + c = 0$  називається будь-яке значення змінної  $x$ , для якого



квадратний тричлен  $ax^2 + bx + c$  перетворюється на одиницю.

Б) Коренем квадратного рівняння  $ax^2 + bx + c = 0$  називається будь-яке значення змінної  $x$ , для якого квадратний тричлен  $ax^2 + bx + c = 0$  перетворюється на нуль.

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Коренем квадратного рівняння  $ax^2 + bx + c = 0$  називається будь-яке значення змінної  $x$ , для якого квадратний тричлен  $ax^2 + bx + c$  перетворюється на нуль», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 10.** Відкривається п'яте питання «Яке квадратне рівняння називають зведеним?» Оберіть одну із відповідей.

А) Квадратне рівняння, у якому  $a=1$ , називається зведеним.

Б) Квадратне рівняння, у якому  $b=1$ , називається зведеним.

В) Квадратне рівняння, у якому  $c=1$ , називається зведеним.

Якщо користувачем обрано невірну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Квадратне рівняння, у якому  $a=1$  називається зведеним», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 11.** Відкривається шосте завдання «Виписати коефіцієнти квадратного рівняння». Введіть відповіді самостійно.

|                     | a | b | c |
|---------------------|---|---|---|
| $5x^2 + 3x - 2 = 0$ |   |   |   |
| $2x - 3x^2 + 7 = 0$ |   |   |   |
| $-x^2 - 6x + 9 = 0$ |   |   |   |
| $7x^2 + 3 = 0$      |   |   |   |
| $x^2 - 6x = 0$      |   |   |   |

Якщо користувачем вибрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Коефіцієнт  $a$  знаходиться перед змінною  $x^2$ , коефіцієнт  $b$  – перед  $x$ , а коефіцієнт  $c$  – самостійна змінна», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 12.** Відкривається сьоме завдання «Яке з рівнянь є квадратним?». Оберіть одну із відповідей.

А)  $3x - 4x + 5 = 0$

Б)  $7x^3 + 4x - 9 = 0$

В)  $7x^3 + 4x - 9 = 0$

Г)  $6x - 12 = 0$

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ , де  $x$  – змінна,  $a, b, c$  – числа,

причому  $a \neq 0$ , називається квадратним», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 13.** Відкривається восьме завдання «Розв'яжіть рівняння  $x^2 - 16 = 0$ ». Оберіть одну із відповідей.

А) 2

Б) -4 і 4

В) -2

Г) 4

Якщо користувачем введено неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Дане рівняння має два корені», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 14.** Відкривається дев'яте завдання «Встановіть відповідність між квадратними рівняннями та їх коренями». Оберіть номери відповідності.

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| А) $x^2 - 4x + 3 = 0$   | 1) 2 і 5   |
| Б) $x^2 - 24x - 81 = 0$ | 2) -4 і 3  |
| В) $x^2 + 8x + 12 = 0$  | 3) -3 і 27 |
| Г) $x + x - 12 = 0$     | 4) -6 і -2 |
| Д) $x^2 - 7x + 10 = 0$  | 5) 1 і 3   |

Якщо користувачем неправильно встановлені відповідності, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «Підстановка коренів в рівняння перетворює останні в правильні рівності», інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 15.** Відкривається десяте завдання «Якщо у рівнянні  $x^4 - 2x^2 + 28 = 0$  замінити  $x^2$  на  $y$ , то одержимо рівняння...». Оберіть одну із відповідей.

А)  $y^3 - 2y + 28 = 0$

Б)  $y - 2y + 28 = 0$

В)  $y^2 - 2y + 28 = 0$

Г)  $y^2 - 2 + 28 = 0$

Якщо користувачем обрано неправильну відповідь, то відкривається вікно з підказкою, яка містить наступну інформацію: «В результаті заміни отримаємо квадратне рівняння виду  $ax^2 + bx + c = 0$ », інакше відбувається перехід до наступного кроку.

**Крок 16.** Перед користувачем з'являється екран з написом: «Ви завершили завдання з блоку «Квадратні рівняння».

Бажаєте повернутися до початкового екрану та обрати інший блок?»

Якщо відповідь обрано «Так, повернутися до початкового екрану», то відбувається перехід, інакше завершується робота навчальної програми.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень.** На основі проведеного аналізу встановлено, що серед усього різноманіття

електронних засобів навчального призначення електронні тренажери належать до групи навчально-контролюючих електронних засобів навчального призначення, які призначені для передачі змісту навчання і формування знань, умінь і навичок.

Існуючі навчальні тренажери для шкільного дистанційного курсу математики мають обмежений

функціонал, вони або тільки навчають, або тільки перевіряють знання на практичних завданнях.

Проаналізувавши наявні матеріали, було розроблено структуру програмного забезпечення з теми «Рівняння та системи рівнянь». В подальшому планується програмно реалізувати навчальний асистент.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коберник І., Звinyaцьківська З. Організація дистанційного навчання в школі. Методичні рекомендації. 2020. 71 с.
2. Буряк О. Цифрові інструменти в управлінській діяльності закладу загальної середньої освіти. *Освітні технології. Освіта на Луганщині*, 2021. № 4 (65). С. 52–60.
3. Биков В., Спирін О., Пінчук О. Сучасні завдання цифрової трансформації освіти. *Вісник Кафедри ЮНЕСКО «Неперервна професійна освіта XXI століття»*. Київ, 2020. С. 27–36.
4. Скляр О. В., Віра М. Б. Методика вивчення текстових задач в шкільному курсі алгебри. Ніжин, 2020. 91 с.
5. Новікова А. О., Швець В. О. Формування в учнів основної школи умінь математичного моделювання у процесі навчання алгебри. НПУ ім. М. П. Драгоманова: Київ, 2021. 305 с.
6. Істер О. С. Алгебра: підручник для 8-го класу загальноосвітніх навчальних закладів. К.: Генеза, 2016. С. 170–221.
7. Лисогор Л., Берендєєв С., Косенчук Ю. Використання електронних освітніх матеріалів у освітньому процесі: сучасні підходи і технології Нової української школи. Випуск 1: навч.-метод. посібник, Київ, 2023. 117 с.

### REFERENCES

1. Kobernyk, I., & Zvyniatskivska, Z. (2020). Organization of distance learning at school. Guidelines]. 71 p. [in Ukrainian].
2. Buriak, O. (2021). Tsyfrovі instrumenty v upravlinskii diialnosti zakladu zahalnoi serednoi osvity [Digital tools in the management activities of the institution of general secondary education]. *Osvitni tekhnolohii. Osivta na Luhanshchyni [Educational technologies. Education in Luhansk region]*. № 4 (65), 52–60 p. [in Ukrainian].
3. Bykov, V., Spirin, O., & Pinchuk, O. (2020). Suchasni zavdannya tsyfrovoi transformatsii osvity [Modern tasks of digital transformation of education]. *Visnyk Kafedry YuNESKO «Neperervna profesiina osvita XXI stolittia» [Bulletin of the UNESCO Chair "Continuous professional education of the 21st century"]*. 27–36 p. [in Ukrainian].
4. Skliar, O. V. (2020). Metodyka vyvchennia tekstovykh zadach v shkylnomu kursu alhebrы [Methods of studying text problems in the school algebra course]. 91 p. [in Ukrainian].
5. Novikova, A. O. (2021). Formuvannia u uchniv osnovnoi shkoly umin matematychnoho modeliuвання u protsesi navchannia alhebrы [Formation of mathematical modeling skills in elementary school students in the process of learning algebra], 305 p.
6. Ister, O. (2016). Alhebra: pidruchnyk dlia 8-ho klasu zahalnoosvitnykh navchalnykh zakladiv [Algebra: a textbook for the 8th grade of general educational institutions], P. 170–221. [in Ukrainian].
7. Lysohor, L., Berendiev, S., Kosenchuk, Yu. (2023). Vykorystannia elektronnykh osvitnykh materialiv u osvitnomu protsesi: suchasni pidkhody i tekhnolohii Novoi ukrainskoi shkoly. Vypusk 1: navch.-metod. Posibnyk [The use of electronic educational materials in the educational process: modern approaches and technologies of the New Ukrainian School. Issue 1: educational method. manual], Kyiv, 117 p.

**O. Chernenko**, Ph.D., Associate Professor, **O. Dzyuba**, Master of Specialty 122 "Computer science" (Poltava University of Economics and Trade). **Design of educational tool on the subject "Equations and systems of equations" for the school mathematics course**

**Abstract.** An educational simulator is a method of interactive learning that can be effectively implemented in different classes (explanation of new material, practical classes) and used for different purposes (acquiring new knowledge or consolidating material, practicing and testing skills). **The purpose** of the article is the development of educational software on the topics of the school mathematics course. Research methodology. To solve the tasks, an overview of available simulators was used, their advantages and disadvantages were analyzed. **The results.** A study of the methods of implementing educational products was conducted, which included determining the requirements for the program, developing the architecture, choosing technologies, programming and testing.

An analysis of software products for learning showed that most of them provide the opportunity to study a separate section or type of equations, or only aim to test the level of knowledge of the topic.

The structure of the teaching assistant has been developed. The material on the selected topic for each block of the application has been studied and systematized. On the basis of the considered methodical sources, the solutions of typical examples were selected as methodical recommendations for the performance of practical tasks. Based on the theoretical material, a database of test tasks was developed for each topic block. The tasks include closed answers (one correct or several), open (tasks for entering the answer), exercises where it is necessary to establish the correspondence. Tasks with step-by-step execution control the student at each stage of the solution. A fragment of the working algorithm of the educational software is presented on the example of one of the "Quadratic Equations" blocks.

**Practical significance of research results.** The work materials will be useful for mathematics teachers, tutors, as well as students who study mathematics at school or remotely.

**Key words:** software, equations, systems of equations, mathematics, algebra, development, electronic teaching aids.

## **НОТАТКИ**

**НАУКОВИЙ ВІСНИК  
ПОЛТАВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ**

**Серія «Технічні науки»**

**Випуск 1, 2024**

Українською та англійською мовами

Відповідальний редактор: *Н. Славогородська*  
Технічний редактор: *Н. Корцигіна*

Підписано до друку: 01.07.2024.  
Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 5,58.  
Наклад 100 прим.

Надруковано: Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.