



**RIGA NORDIC
UNIVERSITY**

Riga Nordic University

**INNOVATIVE TECHNICAL SOLUTIONS
FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF UKRAINE AND EU COUNTRIES**

Scientific monograph

Volume 2



**IZDEVNIECĪBA
BALTIJA
PUBLISHING**

2026

*Recommended for printing and distribution via Internet
by the Academic Council of Baltic Research Institute
of Transformation Economic Area Problems according
to the Minutes № 3 dated 25.03.2026*

REVIEWERS:

Romans Djakons - Doctor of Engineering, Professor, Academician, Chairman of the Board of Riga Nordic University;

Deniss Djakons - Doctor of Economics, Professor, Rector of Riga Nordic University;

Antonina Djakona - Doctor of Economics, Professor, Riga Nordic University.

Innovative Technical Solutions for the Sustainable Development of Ukraine and EU Countries: Scientific monograph.
Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2026. Vol. 2. 292 p.

ISBN 978-9934-26-653-9

© Riga Nordic University, 2026

CONTENTS

FOOD TECHNOLOGIES

Chapter 13

Innovative technology for processing waste raw materials of plant origin (Holub L. S.)	2
1. Development of technology for extracting protein isolate from pumpkin meal	3
2. Research into the possibility of using protein isolate from vegetable meal as an emulsifier	11

Chapter 14

Comprehensive study of the chemical composition, amino acid profile and histological structure of African ostrich meat (Israelian V. N., Holembovska N. V.)	29
1. Modern ideas about the chemical composition and properties of African ostrich meat	30
2. Methodological foundations of research into the chemical composition and morphofunctional properties of meat	31
3. Comprehensive assessment of the chemical composition, biological value, and functional and technological properties of African ostrich meat	33
4. Histological and morphological features of muscle tissue of ostrich meat	41

Chapter 15

Parapharmaceuticals of plant origin – past and future (Kichura D. B., Subtelnyi R. O.)	48
1. Classification of parapharmaceuticals	50
2. Raw materials for herbal parapharmaceuticals and methods of its extraction	53
3. Antimicrobial substances from plants of certain families and their effect on bacteria of the genus <i>Staphylococcus</i>	61

Chapter 16

Probiotics in health nutrition (Kichura D. B.)	76
1. Classification of probiotics and application	77
2. Antagonistic properties of probiotics	85

Chapter 17

Technology of craft bread with live sourdough (Medvedieva A. O., Antonyuk I. Yu.)	101
1. Analysis of the range of similar products in the craft bread production market	101
2. Consumer characteristics of the gastronomic concept of craft bread	109
3. Development of craft bread technology.	115

Chapter 18

Innovations in Technologies of Freezing and Storing the Fruit-and-Berry Raw Materials Based on Cryoprotection Methods (Simakhina G. O.)	124
1. Scientific Approaches to Select the Most Effective Method of Plant Raw Preservation	125
2. Effectiveness of Cryoprotectant Usage. Scientific and Practical Aspects	130
3. The Model of Organization for an Innovative Enterprise to Produce the Quick-Frozen Fruit and Berry Half Products.	136

ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Chapter 19

Typological features of observation decks as centers of socio-cultural space of airports (Agieieva G. M.)	147
1. Observation decks as components of the socio-cultural space of airports.	150
2. Factors influencing the formation of observation decks.	152
3. Typological features of observation decks.	154
4. Observation decks in the spatial organization structure of Boryspil International Airport: practice and prospects.	157

GENERAL ISSUES OF ENGINEERING SCIENCES

Chapter 20

Various concepts of using mathematical modeling (Vdovychenko I. N.)	168
1. Mathematical modeling in the modern world	169
2. Analysis of principles and approaches to the use of mathematical modeling	172

Chapter 21	
Entropy-topological approach to modeling complex multicomponent systems (Voloshyn V. S., Klenin O. V.)	183
1. Entropy-topological model of simple two-component systems	184
2. Entropy-topological model of multicomponent complex systems	195
3. Natural and applied value of the model	200
Chapter 22	
The human factor in ensuring the viability and sustainability of complex technical systems (Mygal G. V.)	208
1. Man as a resource for safety, not a source of errors	209
2. Viability of complex technical systems	218
3. Human-Centered Design as an Engineering Methodology for Ensuring Sustainability	227
Chapter 23	
Innovative technical solutions for sustainable development of Ukraine and EU countries: organization of scientific and scientific-technical activities in the military sphere (Khomenko Ye. V., Svietchnyi I. V., Bondar V. Yu., Korotchenko O. O.)	241
1. Organization and implementation of scientific and scientific-technical activities in the U.S. Army Corps of Engineers	243
2. Organization of scientific and scientific-technical activities in the Royal Corps of Engineers of the British Army	250
Chapter 24	
Development of land legislation as a condition for strengthening Ukraine's defence resilience (Sharyi G. I., Kariuk A. M., Mishchenko R. A.)	270

07

SECTION



FOOD TECHNOLOGIES

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Голуб Л. С.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-13>

ВСТУП

Харчування є одним з найважливіших факторів життєдіяльності людини, воно безпосередньо впливає на стан здоров'я, працездатність, фізичний та розумовий розвиток. З їжею в організм надходять білки, жири, вуглеводи, мікро- та макроелементи, необхідні для нормального функціонування. Для оптимальної роботи всіх органів та систем в організмі людини харчування має бути повноцінним та збалансованим, чого намагаються досягти у кілька способів, одним з яких є вдосконалення рецептур та технологій виробництва існуючих харчових продуктів з метою збереження поживних властивостей компонентів продукту або надання продукції нових властивостей. Особливо важливим є використання натуральних рослинних компонентів, а також рослинних олій з вираженими харчовими та біологічними властивостями та добавок, які мають корисні для здоров'я людини функціональні властивості.

Актуальним напрямком розвитку харчової технології є розробка корисних для здоров'я споживачів та низькокалорійних продуктів. Серед харчових компонентів, що мають особливе значення для здоров'я людини, найважливіша роль належить білкам рослинного походження, оскільки останнім часом в раціоні населення України відбулися негативні зміни, пов'язані зі скороченням переважної більшості продуктів. Це призвело до розвитку дефіциту незамінних нутрієнтів: білків, вітамінів, мінеральних речовин, поліненасичених жирних кислот. Актуальні розробки харчової промисловості в останні роки полягають в напрямку забезпечення організму людини корисними для здоров'я та низькокалорійними продуктами, доцільним є збільшення в раціоні кількості білку. Згідно з даними, що корелюють із поширенням

відповідних захворювань, та за оцінками експертів дефіцит харчового білка в Україні складає близько 30...40 %, вітамінів – 40...60 %¹. Відомо, що дефіцит білків у дієті призводить до розпаду власних білків організму. У складі харчових продуктів рослинні білки позитивно впливають на органолептичні показники їжі: вигляд, колір, смак і текстуру. Рослинні білки, на відміну від білків тваринного походження, не підвищують рівень холестерину в організмі людини. Баланс амінокислотного складу у рослинних білків менше, ніж баланс у білків тваринного походження, але білкові продукти рослинного походження мають й переваги – низькокалорійність, відсутність в складі та в подальшому в готовому харчовому продукті лактози².

Харчові продукти, які містять в своєму складі рослинні білки, можна використовувати в раціоні харчування дітей, а також людям, які потребують дієти, при непереносимості лактози. На сьогодні в Україні не знайшло суттєвого поширення виробництво харчових рослинних білків. Зважаючи, що відходів сировини рослинного походження вдосталь, актуальним є подальше дослідження питання переробки відходів, в тому числі з метою виробництва рослинних білків.

1. Розробка технології вилучення білкового ізоляту із гарбузового шроту

На теперішній час дуже багато робіт, присвячених отриманню білкових продуктів зі шроту насіння соняшнику³ і сої⁴.

Вихід білка рослинного походження залежить від технології одержання. Білкові продукти можна розділити на 4 групи:

1) борошно та натуральні пластівці, які одержують виключно з подрібнених бобів сої, після процесу розділення зародку та оболонки, а також волого-теплової обробки, при цьому не вилучаючи олію. Такі продукти за хімічним складом нагадують насіння, але в своєму складі в них менший вміст клітковини;

¹ Камсуліна Н.В., Скуріхіна Л.А., Губаль Л.М. Дослідження функціонально-технологічних властивостей білків із насіння соняшнику. Збірники наукових праць ХДУХТ Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі – Харків: ХДУХТ, 2015. №22 С.50-61.

² Голуб Л.С., Водолазька А.В. Оптимізація технології вилучення білкових продуктів з відходів рослинної сировини. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2024. № 3. С.5-9.

³ Ivanova P., Chalova V., Koleva L., Pishtiyski I., Perifanova M. (2012) Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. V2. P.153-160.

⁴ Макаринська А.В., Чернега І.С., Оганесян А.А. Переваги використання білкових рослинних концентратів при виробництві комбикормової продукції. *Зернові продукти і комбикорми*. 2018. №18. С.34-39.

2) борошно (знежирені пластівці). Масова частка білків в них становить 50-55 %, вуглеводів становить приблизно 38 % (15 % з них становлять розчинні вуглеводи). Отримують їх із соєвих пластівців, з яких було видалено олію, але перед цим з пластівців вилучають розчинник при температурі 70-80°C. Далі проходить процес висушування при температурі 90-120°C, одержаний продукт охолоджують, та за необхідності може відбуватися процес подрібнення;

3) білкові концентрати – це концентровані білкові продукти, які вилучають із жмиху без вмісту олії (знежиреного насіння). Зі знежиреного подрібненого жмиху видаляють небілкові сполуки, залишаючи чистий білок. Частка білків в таких продуктах становить 65-70 %;

4) білкові ізоляти вважаються найбільш багатими на вміст білку, адже мають в своєму складі понад 90 % білків. Ізоляти одержують за рахунок стадії екстракції білків із знежиреного борошна з подальшим виділенням самих білків із суміші⁵.

Технологія білкових ізолятів полягає у вилученні білків із харчового шроту⁶. Білкові ізоляти мають найбільший вміст білків в своєму складі⁷. За технологічною схемою отримання ізолятів розрізняють наступні стадії: відбуваються процеси екстракції із шроту білків, вилучення їх із екстракту та остаточне висушування з отриманням готового продукту. В якій кількості буде одержано білковий ізолят залежить від ефективності екстракції білків. Для екстракції білків зазвичай застосовують нейтральні або полярні розчинники. В якості нейтральних розчинників обирають воду або розчин хлориду натрію, а в якості полярних – лужні розчини. Білкові ізоляти, отримані із шроту, можуть бути використані як функціональні харчові добавки, а точніше як емульгатор, для фіксації харчової та текстурної продукції⁸.

Для одержання харчових білків необхідно обрати знежирений жмих або шрот, який має найбільший вміст нативних білків, низьку кількість ліпідів та найменший вміст вуглеводних та інших домішок, які не

⁵ Голуб Л.С., Власенко К.М. Інноваційні підходи до складання рецептур майонезних соусів з використанням нетрадиційної сировини. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2023. № 33. С.40-46.

⁶ Gupta A., Sharma R., Sharma S., Singh B. Oilseed as potential functional food Ingredient. *Today and Tomorrow's Printers and Publishers*. New Delhi, India. 2018. P. 25–58.

⁷ Teh S.S., Bekhit A.E., Carne A., Birch J. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates. *J. Food Meas. Charact.* 2013. №8. P.92–104.

⁸ Teh S.S. Bekhit A.E., Hakeem K.R., Jawaid M., Alothman O.Y. Utilization of Oilseed Cakes for Human Nutrition and Health Benefits. *International Publishing*. Cham, Switzerland, 2015. P. 191–229.

притаманні шроту. Шрот має містити в своєму складі 75-82 % протеїну (розчинного)⁹.

В даній роботі використовували мікс жмихів з гарбузового, льняного, конопляного насіння, виробником є ФОП «Кібець Р.В.». Спочатку було вирішено визначити відсоток одержання білку з кожного виду жмиху рослинного насіння.

В Україні традиційно кожного року вирощується велика кількість гарбузових насаджень. М'якоть плодів гарбуза переробляють на сококонсервному виробництві, при цьому в якості відходів утворюється велика кількість насіння. З гарбузового насіння виготовляють корисну гарбузову олію, а знежирений гарбузовий шрот не знайшов широкого використання у харчовій промисловості. Але у порівнянні зі шротом з інших олійних культур, саме шрот з насіння гарбуза містить велику кількість протеїну (табл. 1). Тому актуальним є подальша переробка гарбузового шроту з метою вилучення цінних і корисних для організму людини білкових продуктів¹⁰.

Таблиця 1

Порівняння вмісту протеїну у шротах з насіння олійних культур

№	Олійна культура	Вміст сирого протеїну, %
1	Шрот з насіння льону	29,96
2	Шрот з насіння кунжуту	39,71
3	Шрот з насіння коноплі	26,35
4	Шрот з насіння гарбуза	50,68
5	Шрот з кокосової стружки	15,60

В роботі використовували шрот з насіння голонасінного гарбуза. Гарбуз голонасінневий – унікальний сорт, який формує насіння без лущиння. Саме з цього сорту гарбуза отримують олію екстра-класу. Плоди овально-округлі, з тонкою шкіркою, м'якоть солодка і легко розварюється. Насіння темного кольору, що зумовлено високим вмістом хлорофілу. Крім того гарбузове насіння містить багато корисних компонентів: харчові волокна, калій, магній, фосфор, залізо, марганець, мідь і цинк, антиоксиданти і ненасичені жирні кислоти. Завдяки цьому воно корисне для серця, обміну речовин, нервової системи, кісток та зубів, волосся та нігтів. Гарбузовий

⁹ Голуб Л.С., Левченко Є.П. Нові функціональні харчові продукти з використанням нетрадиційної сировини. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»* (Prague, 12–13 March, 2021). Prague, 2021. P.141.

¹⁰ Lesia S. Holub, Yevhenii P. Levchenko, Ekaterina N. Vlasenko. Development of technology for extraction of protein isolate from pumpkin meal with its further use as emulsifier in mayonnaise recipe. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. V.30(2). P.222-228.

шрот одержують після вилучення з насіння олії методом холодного пресування.

Зважаючи на вищесказане, в роботі описана технологія одержання ізоляту білку з гарбузового шроту голонасінного гарбуза і проаналізовано можливість заміни емульгатору тваринного походження (яєчного порошку) на одержаний білковий ізолят з відходів сировини рослинного походження в рецептурному складі майонезу.

Пресування чистого ядра гарбузового насіння дозволяє отримати білий шрот із високим вмістом білка, не підданий денатурації. Макуха, одержана внаслідок віджимання олії з чистого ядра, добре перемелюється у високобілкове борошно з вмістом олії, яка залишилася (близько 23 %), що дозволяє використовувати її в різних харчових технологіях.

Наступний крок поглибленого перероблення насіння голонасінного гарбуза – це екстракція білої макухи. Знежирений білковий концентрат із ядра насіння – нова позиція на ринку білкових ізолятів.

Останній пункт глибокого перероблення – це екстракція макухи, розчинниками (наприклад, гексаном) з метою добування олії, що залишилася і, головне, отримання знежиреного білкового концентрату з ядра насіння гарбуза.

Білковий ізолят із насіння – високоочищений від небілкових компонентів продукт з вмістом білка 90 %. Виробництво білкового ізоляту зі шроту насіння голонасінного гарбуза складається з таких етапів: екстрагування білка за лужного значення рН, наступне осадження білка в ізоелектричній точці, центрифугування, нейтралізація, сушіння.

Для екстрагування білків використовували шрот із насіння голонасінного гарбуза зі вмістом розчинних білків понад 50 %.

На першому етапі для максимального виходу білкового ізоляту гарбузовий шрот знежирювали методом екстракції, в якості розчинника використовували гексан. Екстрагування білків проводили за співвідношенням шрот:екстрагент 1:10 та постійного перемішування, підтримуючи температуру процесу в межах 38-40°C протягом 1 години. Як екстрагент використовували 12,5 %-вий розчин NaCl у гідроксидному буфері (рН 10,0).

Із одержаних екстрактів білки осаджували методом ізоелектричного осадження, доводячи значення рН до 3,9-4,2 Н розчином HCl. Білковий осад відділяли від сироваткової води центрифугуванням при 1500 об/хв. протягом 15 хв. Одержаний осад промивали дистильованою водою для вилучення надлишку хлориду натрію та кислоти. Осад відділяли від промивної води центрифугуванням при 1500 об/хв. протягом 15 хв та висушували за температури 40-45 °С.

Принципова схема одержання білкового ізоляту зі шроту гарбузового насіння наведена на рис 1.

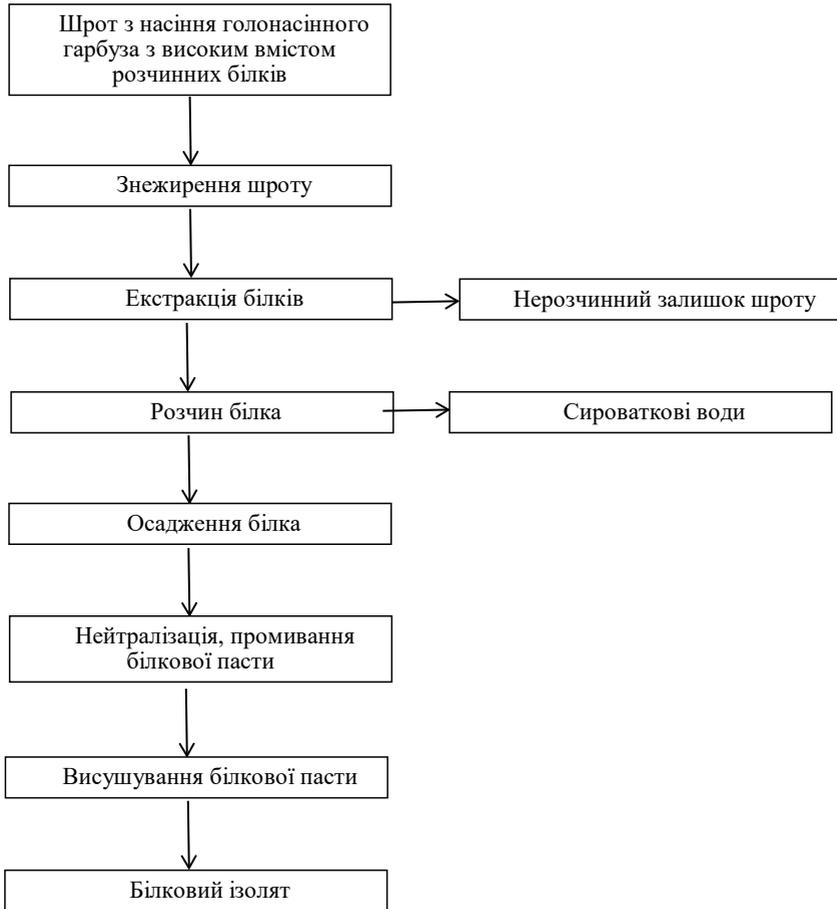


Рис.1. Схема одержання білкового ізоляту зі шроту насіння голонасінного гарбуза

Наступним етапом роботи було розробка технології одержання білкових продуктів з насіння льону. Насіння льону та продукти його переробки вважають дуже перспективними фізіологічно-функціональними інгредієнтами. Цінність продуктів обумовлена вмістом в складі поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), лігнанів, харчових волокон,

білків, макро- та мікроелементів, а також вітамінів¹¹. В насінні льону присутній великий вміст слизу, що доволі ускладнює роботу з даною культурою. Продукти переробки виходять з великою в'язкістю. Слиз присутній і в знежиреному жмиху, що при проведенні дослідів внесе свою частку труднощів. Ляний шрот є джерелом більшості вітамінів, таких як В₁, В₂, В₆, ніацину (РР), пантотенової (В₃) та фолієвої кислоти (В₉), біотину (В₇), токоферолу (вітамін Е). Особливе значення має вміст тіаміну (В₁). Цей продукт є природним джерелом селену.

В останні роки дуже популярним стало використання конопляної сировини (ненаркотичної), адже почали знаходити перспективність використання даної продукції. Конопельним шротом можна назвати харчову добавку, яка має структуру порошку. Шрот одержується із знежиреного насіння коноплі. Конопляний протеїн містить засвоювані білки, конопляну олію та незамінні жирні кислоти (НЖК), властиві в основному саме конопляному насінню. Порошок з насіння коноплі має приблизно 50 % білків, має всі необхідні 20 амінокислот, а також 8 незамінних, жири в складі 12 %, вітаміни, рослинну клітковину в кількості 21 % та мікроелементи¹². Конопля відома багатьма своїми властивостями, а от протеїн коноплі має найкращу засвоюваність серед рослинних білків. Складається він загалом із глобуліну та альбуміну¹³.

Для вилучення білків з відходів конопляної сировини було обрано знежирений жмих з насіння (спеціального, дозволеного законом для вирощування в промислових масштабах) сорту волокнистої коноплі. Даний вид шроту не має у своєму складі каннабіолу, який є наркотичною психотропною речовиною.

Процес проводився при тих самих умовах, за допомогою тих же двох етапів, які були описані для гарбузового жмиху. Результати досліджень наведено в таблиці 2.

З одержаних даних бачимо, що з підвищенням значення рН екстрагенту, вихід білка збільшується.

Знежирений жмих з насіння льону у своєму складі має велику кількість клітковини, яка корисно впливає на кишково-шлунковий тракт людини.

¹¹ Izhevskaya O. Investigation of lipids of flax seed meal and the prospect of using it in meat dishes. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2019. V.21(91). P.9-13.

¹² Сова Н.А., Луценко М.В., Єфімов В.Г., Кургалін С.М. Характеристика сипких конопляних продуктів. *Вісник Національного 20 технічного університету «ХПІ»*. Нові рішення в сучасних технологіях. Харків. 2018. №45(1321). С. 207–213.

¹³ Preethi Ramachandran, Anju K. Dhiman, Surekha Attri. Extraction of Pectin from Ripe Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch ex. Poir) Using Eco-Friendly Technique. *Indian Journal of Ecology*. 2017. V.44 Special Issue (6). P.685-689.

Жмих льону має світло-коричневий колір та горіховий присмак. В складі шроту льону є багато корисних компонентів, завдяки яким полегшуються процеси травлення. Але також в льоні, як було описано вище, є такий компонент як слиз, який в деяких умовах може заважати проведенню процесу вилучення білкових продуктів. Так і вийшло при роботі зі жмихом з насіння льону при вилученні білків. Завдяки присутності слизових частинок, робота з даної сировини трохи сповільнилася. Для того, щоб провести нормально процес екстрагування білків, довелося збільшити кількість екстрагенту. Таким чином, замість співвідношення 1:10 було обрано співвідношення 1:20, це дозволило краще провести процес перемішування, так як через слизові компоненти з попереднім співвідношенням це було неможливим. Також через присутність клейкої речовини було сповільнено процес фільтрування, який йде після екстрагування для того, щоб відділити твердий залишок, який виводиться з роботи. Результати проведеного дослідження наведено в таблиці 3.

Таблиця 2

Результати досліджень вилучення білків із конопляного жмиху

Значення рН екстрагенту	Кількість білка, %
9,0	18,76
10,0	25,23
11,0	27,78

Таблиця 3

Результати досліджень вилучення білків із лляного жмиху

Значення рН екстрагенту	Кількість білка, %
9,0	17,86
10,0	22,23
11,0	25,71

Порівняльні значення одержаних результатів илучення білку з різних видів рослинної сировини наведені в таблиці 4.

Найбільший відсотковий вихід білка, як показали проведені дослідження, вилучається із жмиху з гарбузового насіння, після нього йде відсотковий вихід білку з конопляного жмиху, а найменший відсотковий вихід, як видно з одержаних результатів, спостерігається при вилученні білку зі жмиху з насіння льону.

Подальшим етапом проведено дослідження було вирішено дослідити вихід кількості білкового ізоляту із суміші знежиреного міксу жмихів

із конопляного, гарбузового та льняного насіння. Знежирений мікс складався у відсотковому співвідношенні наведених вище рослинних культур 40:40:20. Процес одержання білкового ізоляту проводився за наведеною вище схемою, за тими самими параметрами та змінними значеннями рН екстрагенту. В таблиці 5 наведено одержані результати досліджень із вилучення білка із міксу знежиреної суміші конопляний+гарбузовий+льняний жмихи.

Таблиця 4

Порівняльні результати досліджень

Значення рН екстрагенту	Кількість білка, % із гарбузового шроту	Кількість білка, % із конопляного шроту	Кількість білка, % із льняного шроту
9,0	23,15	18,76	17,86
10,0	29,46	25,23	22,23
11,0	31,76	27,78	25,71

Таблиця 5

Результати досліджень із вилучення білків із суміші знежирених рослинних відходів

Значення рН екстрагенту	Кількість білка, %
9,0	20,96
10,0	27,34
11,0	29,78
12,0	28,13

З одержаних результатів можна зробити висновок, що оптимальним режимом вилучення білкового ізоляту є проведення процесу при рН 11. При підвищенні рН спостерігаємо, що вихід білка зменшується. Необхідно дотримуватися контролю температурного параметру проведення процесу, температура проведення вилучення білкового ізоляту не повинна перевищувати 43°C.

Одержаний рослинний білок гарно засвоюється людським організмом, є низькокалорійним, не призводить до підвищення рівня холестерину. Одержані білкові ізоляти є дрібнодисперсними структурами (середній діаметр близько $6,42 \cdot 10^{-6}$ м), тому він здатний до водопоглинання, що дозволяє йому виявляти властивості згущувача.

Білкові продукти із олійного насіння є одним із перспективних компонентів для використання у виробництві харчових продуктів. Білкові продукти мають високу біологічну цінність, а також емульгуючу здатність,

що дозволяє вводити їх в рецептури харчових продуктів задля отримання стійкої емульсії, прийнятної консистенції для більшості відомих харчових продуктів¹⁴.

2. Дослідження можливості використання білкового ізоляту з рослинного шроту в якості емульгатору

Одним з найбільш вживаних соусів у раціоні людини є майонез. Його використовують як приправу для поліпшення смаку і засвоюваності продуктів, як добавку для виготовлення перших, других страв і закусок. Традиційно майонез – це продукт на основі рослинної олії, яєчного порошку та лимонного соку, а також гірчиці, цукру, солі та інших харчових і смакових добавок, які складають багатокомпонентну емульсійну систему типу «олія у воді»¹⁵.

Майонез можна назвати продуктом високої біологічної цінності, оскільки він містить рослинні олії. Рослинні олії є для організму людини джерелом не тільки калорій, але й фізіологічно-активних (есенціальних) кислот, які сприяють зниженню вмісту холестерину в крові та профілактиці атеросклерозу.

Традиційно до складу майонезних соусів та майонезів входять рослинні олії, найчастіше використовують дезодоровану рафіновану соняшникову олію. Така олія не принесе багато користі організму, адже процес очищення та рафінації, який використовується для виробництва соняшnikової олії, руйнує антиоксиданти і корисні рослинні сполуки. Аналіз сучасного рівня існуючих розробок показує необхідність використання нетрадиційної рослинної сировини при виробництві жировмісних продуктів для збільшення їх стійкості при зберіганні та надання їм функціональних та антиоксидантних властивостей. Сучасна концепція здорового харчування базується на науково обґрунтованому підході до удосконалення складу, властивостей і технологій харчових продуктів, які повинні не тільки задовольняти потреби організму людини в основних харчових речовинах і енергії, а й сприяти профілактиці захворювань, зберігаючи здоров'я і забезпечуючи довголіття.

Основною особливістю майонезу є можливість корегування складу рецептурних компонентів та отримання продукції, що максимально відповідають фізіологічним потребам організму. Крім того, вживання

¹⁴ Голуб Л.С., Водолазька А.В. Оптимізація технології вилучення білкових продуктів з відходів рослинної сировини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2024. № 3. С.5-9.

¹⁵ Сова Н.А., Луценко М.В., Лобанова А.О., Грекова Н.В. Використання конопляної олії у технології майонезу. *Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2019. №5(1330). С.152-159.

рослинних рідких жирів у вигляді дрібнодисперсної водно-жирової емульсії зменшує навантаження на ендокринну систему, сприяє стабілізації фізіологічних функцій шлунково-кишкового тракту¹⁶.

Розроблено склад майонезу, в якому частину рафінованої дезодорованої соняшникової олії замінено на суміш конопляної та обліпихової олій холодного віджиму, що зберігають більшість антиоксидантів і вітамінів. Часткова заміна соняшникової олії на конопляну може принести користь здоров'ю мозку, при цьому покращуються когнітивні функції у літніх людей. Конопляна олія – єдина з природних олій, в якій Омега-3 і Омега-6 ненасичені жирні кислоти знаходяться в ідеальному співвідношенні 1:3÷5, ці кислоти вкрай необхідні для збереження й захисту функцій різних клітин організму людини, вони очищають судини (артерії), трансформують і стримують накопичення холестерину. Особливо цінним у конопляній олії є вміст біля 2-5 % гамма-ліноленової кислоти, яка є складовою материнського молока людини і досить рідко зустрічається в природі.

Обліпихова олія – полівітамінний природний продукт з високим вмістом аскорбінової кислоти. Ця олія – це один з небагатьох жиромісних продуктів, в якому міститься всі чотири класи омега жирних кислот: Омега-3, Омега-6, Омега-7, Омега-9. Особливо цінним в обліпиховій олії є співвідношення вітаміну Е і β-каротину. В цій олії містяться флавоноїди, макро та мікроелементи, деякі види рослинних антимікробних сполук. До обліпихової олії входять, окрім провітаміну А та вітаміну Е, ще й вітаміни В₁, В₂, В₃, В₆, С, К та каротиноїди, які є природними антиоксидантами та підвищують імунітет¹⁷.

Крім зазначених вище компонентів, майонез містить молоко і ячний порошок, які є джерелом білків з незамінними амінокислотами; жовток курячого яйця, який має значну кількість основного регулятора жирового обміну в організмі – лецитину. Оцтова або лимонна кислоти, що входять у рецептури майонезів є не лише носіями смаку і аромату, але й сприяють травленню, забезпечуючи необхідну кислотність середовища, яка також зумовлює бактерицидну дію. Поруч з перевагами, сьогодні існують суттєві недоліки даної продукції. Пов'язане це з тим, що у виробники намагаються отримати вигоду через зниження собівартості продукту за рахунок заміни або зменшення дороговартісних компонентів на більш дешеві. У результаті цього на вітчизняному ринку під назвою «Майонез» реалізуються

¹⁶ Бахмач В. О., Пешук Л. В. Удосконалення технології майонезів з використанням рослинної сировини. Харчова промисловість. 2015. №15. С. 27-31.

¹⁷ Осейко М. І. Технологія рослинних олій. К: Варта. 2006. 280с.

емульсійні продукти, у складі яких наряду з такими інгредієнтами, як вода, олія соняшникова містяться різні шкідливі для організму добавки, такі як регулюючі, стабілізуючі та структуроутворюючі: стабілізатори, загусники, смакові підкислювачі, підсолоджувачі. Ці шкідливі добавки у рецептурному складі майонезу призводять до захворювань шлунково-кишкового тракту, сприяють руйнуванню зубної емалі, деякі з яких є найбільш шкідливими і у багатьох країнах заборонені для використання у харчових продуктах¹⁸. Враховуючи вище зазначене, актуальним є покращення асортименту існуючих на ринку майонезів з метою отримання якісної і корисної продукції з низькою собівартістю.

Основними тенденціями розширення асортименту майонезів є зниження калорійності шляхом зменшення в рецептурі вмісту жирів та цукру, підвищення біологічної цінності шляхом повної чи часткової заміни традиційних компонентів натуральними біологічними¹⁹ та фізіологічно активними речовинами²⁰. Одним з таких перспективних компонентів є білкові продукти з насіння олійних культур²¹. Відомо, що білкові продукти мають високу біологічну цінність та емульгуючу здатність, тому їх застосування у складі харчових продуктів дозволяє одержати стійкі емульсії звичної для споживача консистенції²². З цієї точки зору виникає можливість заміни традиційного емульгатора – яєчного порошку у рецептурі майонезу. Відомо, що яєчний порошок містить 9 % холестеролу, його не рекомендується вживати людям літнього віку та хворим на гіперхолестеринемію. Тому на сьогоднішній день актуальною є розробка рецептур низькокалорійних майонезів з повною заміною емульгатору тваринного походження на емульгатор на основі білкових продуктів, отриманих з відходів рослинної сировини.

Наступний етапом роботи було розробка рецептури з покращеним жирнокислотним складом, але з використанням традиційного емульгатору – яєчного порошку.

¹⁸ Чумак Д.Є., Фарісеєв А.Г. Удосконалення рецептурного складу майонезів промислового виробництва. *II науково-практична конференція «Сучасні світові тенденції розвитку науки та технологій»*. Одеса. 2020. С.156.

¹⁹ Галух Б.І., Паска М.З., Драчук У.Р. Збагачення майонезів і соусів комплексом природних антиоксидантів і біологічно активних речовин. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2015. №1 (61). С. 11-16.

²⁰ Манк В.В., Пешук Л.В., Радзівська І.Г. Розроблення емульсійних продуктів підвищеної біологічної цінності. *Харчова промисловість*. 2005. №4. С. 42-45.

²¹ Бахмач В., Прутьська Н., Дядечко О. Використання рослинних білків під час виробництва майонезів. *Збірник наукових праць КДТЕУ, Київ 2000*. С.45-47.

²² Rahayu P.P, Purwadi Radiati Manab. Physico Chemical Properties of Whey Protein and Gelatine Biopolymer Using Tea Leaf. *Extract as Crosslink Materials. Curr. Res. Nutri. Food Sci.* 2015.V3(3). P.224-236.

Розроблено майонез, в рецептурі якого в якості жирової основи використано купаж олій з зародків пшениці та соняшникової олій, такий склад купажу забезпечує добову потребу організму у вітаміні Е, причому у його природних формах. Традиційно до складу майонезних соусів та майонезів входять рослинні олії, найчастіше використовують дезодоровану рафіновану соняшникову олію. Така олія не принесе багато користі організму, адже процес очищення та рафінації, який використовується для виробництва соняшникової олії, руйнує антиоксиданти і корисні рослинні сполуки. Аналіз сучасного рівня існуючих розробок показує необхідність використання нетрадиційної рослинної сировини при виробництві жиромісних продуктів для збільшення їх стійкості при зберіганні та надання їм функціональних та антиоксидантних властивостей. Враховуючи, що олія соняшникова є основним і досить дороговартісним інгредієнтом у рецептурах майонезів, доцільним є пошук альтернативних їй компонентів, які б не погіршували, або навіть покращували біологічну цінність готового продукту.

В даній роботі в рецептурі майонезу в якості жирової основи використовували купаж олій з зародків пшениці та соняшникової олій. Такий склад купажу забезпечує добову потребу організму у вітаміні Е, причому у його природних формах. Олія з зародків пшениці містить багато Омега-6 та Омега-3 кислот. Олія пшеничних зародків має високу харчову, а також біологічну цінність, будучи справді унікальним за біохімічним складом і цілющими властивостями натуральним продуктом. У складі олій є незамінні амінокислоти, жирні поліненасичені кислоти, водо- і жиророзчинні вітаміни, що володіють протизапальною властивістю; алантоїн, який має високу антиоксидантну активність, сквален (2-3 %), октакозанол, близько 20 різних макро- і мікроелементів. Відмінною особливістю цієї олії є високий вміст «вітаміну молодості» токоферолу (Е) – всього в 100 г міститься до 400 мг даного природного антиоксиданту. Це рослинний продукт також багатий вітаміном D, що грає вкрай важливу роль в засвоєнні кальцію і фосфору – мінералів, що «відповідають» за здоров'я зубів, суглобів і кісток. У олій зародків пшениці також присутній бета-каротин, який в організмі перетворюється на вітамін А. Крім того, ця олія є джерелом вітамінів групи В. Відрізняється вона і досить високим вмістом цинку, який бере участь в жировому, білковому, вуглеводному обміні і кровотворенні, в синтезі травних ферментів і інсуліну. В даній олій міститься селен і цинк. У складі олій зародків пшениці також присутній природний антиоксидант сквален, який має виражені ранозагоювальні, імуностимулюючі, протигрибкові і бактеріцидні властивості.

Для профілактики захворювань на цукровий діабет в рецептурі майонезу цукор замінили на фруктозу.

З метою надання майонезу функціональних властивостей запропоновано в рецептурі майонезу використовувати насіння льону золотого. Відмінність золотого льону від коричневого полягає у наявності декількох активних речовин. Золотий льон містить більше антиоксидантів, також золотий льон ніжніше на смак, має омолоджуючу і антибактеріальну дію. Насіння золотого льону насичене великою кількістю розчинної і нерозчинної клітковини (пектинів). Будучи сорбентом, клітковина очищає організм від надлишків холестерину і шкідливих токсинів, підвищує в'язкість вмісту кишківника, сприяючи кращому випорожненню. Також це насіння багате на фітоестрогени, схожі за властивостями з естрогенами. Ці гормоноподібні речовини є сильними антиоксидантами. Насіння золотого льону особливо корисне для жінок. Крім того, воно сприяє нормалізації артеріального тиску, метаболізму кальцію, жирів і енергії. Насіння золотого льону сприяє поліпшенню роботи кровоносної системи, має протизапальні властивості і захищає організм від деяких різновидів раку, сприяє очищенню організму та детоксикації. Також насіння золотого льону корисно при атеросклерозі, проблемами з серцем і суглобами, при погкій роботі травного тракту, розладах дихальних шляхів. Золотий льон ефективний при загоєнні ран, які можуть виникнути в травному тракті.

Для виготовлення майонезу використовували наступну сировину:

- олія зародків пшениці нерафінована та недозодорована першого холодного віджиму, отримана на шнековому пресі, виробник ТОВ «Агросільпром».

- олія соняшникова рафінована згідно ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова. Технічні умови»;

- яєчний порошок згідно ДСТУ 8719:2017 «Продукти яєчні. Технічні умови»;

- фруктоза згідно ДСТУ 2316–93 «Цукор і крохмалепатоківі продукти. Технічні умови»;

- сіль кухонна згідно ДСТУ 3583:97 «Сіль кухонна. Загальні технічні умови»;

- гірчичний порошок згідно ДСТУ 4842:2007 «Порошок гірчичний. Технічні умови»;

- лимонний сік згідно ДСТУ 7159:2010 «Консерви соки відновлені».

- жмих з насіння голонасінневого гарбуза, виробник ФОП «Кібець Р.В.

Рецептури дослідних зразків, готового продукту майонезу жирністю 65 %, наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Рецептурні співвідношення дослідних зразків у відсотковому співвідношенні

№ з/п	Сировина	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4
1	Соняшникова олія, %	65,0	-	32,5	45,5
2	Олія з зародків пшениці, %	-	65,0	32,5	19,5
3	Яечний порошок, %	10,0	10,0	10,0	10,0
4	Сіль кухонна, %	1,7	1,7	1,7	1,7
5	Фруктоза, %	0,625	0,625	0,625	0,625
6	Гірчичний порошок, %	2,0	2,0	2,0	2,0
7	Лимонний сік, %	2,1	2,1	2,1	2,1
8	Насіння льону, %	0,5	0,5	0,5	0,5
9	Вода очищена, %	решта	решта	решта	решта

Купаж олій готували наступним чином: соняшкову і олію з зародків пшениці попередньо підігрівали до 30°C і перемішували протягом 10 хвилин. Яечний порошок заливали підігрітою до 30°C водою та перемішували протягом 20 хвилин. Яечну суміш, олію, гірчичний порошок, лимонний сік, сіль, фруктозу та насіння льону в необхідній кількості поміщали в чашу блендера, змішували протягом 60 секунд до утворення стійкої емульсії. Безпосередньо після виготовлення майонезу провели дослідження його якості. Відбір проб і визначення вмісту жиру та кислотності здійснювали згідно ДСТУ 4487:2015 «Майонези. Правила приймання та випробування».

Органолептичні показники якості встановлювали на підставі коефіцієнтів вагомості з використанням профільного методу, результати наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Органолептичні показники якості дослідних зразків майонезу

Номер зразка	Зовнішній вигляд	Консистенція	Колір	Запах	Смак	Загальна оцінка
Коефіцієнт вагомості	0,15	0,1	0,15	0,3	0,3	1
Зразок №1	5	5	5	5	4	4,70
Зразок №2	5	5	5	5	3	4,40
Зразок №3	5	5	5	5	4	4,70
Зразок №4	5	5	5	5	5	5,00

Зовнішній вигляд, консистенція колір та запах усіх зразків були оцінені на 5, а от смак зразків різнився. За проведеною органолептичною оцінкою можна зробити висновок, що зразок №4 має найкращі результати.

Результати визначення показників якості дослідних зразків майонезу наведені в таблиці 8.

Таблиця 8

Органолептичні та фізико-хімічні показники дослідних майонезів

Показники	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4
Зовнішній вигляд, консистенція	Однорідний кремоподібний продукт, з поодинокими бульбашками повітря			
Колір	Однорідний, кремувато-жовтий			
Смак	Притаманний традиційному майонезу	Притаманний традиційному майонезу з явно вираженим присмаком олії з зародків пшениці	Притаманний традиційному майонезу з відчутним присмаком олії з зародків пшениці	Притаманний традиційному майонезу
Запах	Притаманний традиційному майонезу			
Масова частка води, %	13,60	13,40	13,50	13,47
Масова частка жиру, %	65	65	65	65
Кислотне число, %	0,07	0,069	0,071	0,064
Стойкість емульсії, %	99	99	99	99
pH середовище	4	4	4	4

Представлені результати досліджень свідчать про те, що фізико-хімічні показники якості дослідних зразків відповідають даним нормативних документів.

Встановлено, що найкращі показники якості має рецептура майонезу зразку №4, жирова основа якого складається зі 70 % рафінованої дезодорованої соняшникової олії і 30 % олії з зародків пшениці.

Кислотність розробленого майонезу визначали протягом 35 діб з метою встановлення оптимального строку зберігання готової продукції. Результати визначення кислотного числа зразку майонезу №4 наведені в таблиці 9.

Аналізуючи отримані дані, бачимо, що при зберіганні спостерігається підвищення кислотності майонезу, але отримані дані не перевищують норм ДСТУ 4487:2015. Виходячи з отриманих даних, рекомендований строк зберігання майонезу становить 35 діб при температурі 1 ÷ 6°C.

Таблиця 9

Визначення кислотності досліджуемого майонезу.

Строк зберігання	Кислотність майонезу, %
1 доба	0,064
7 діб	0,09
14 діб	0,158
21 доба	0,26
28 діб	0,28
35 діб	0,29

Також було проведено визначення стійкості досліджуемого зразку майонезу. Результати дослідження стійкості наведені в таблиці 10.

Таблиця 10

Визначення стійкості досліджуемого майонезу.

Строк зберігання	Стійкість майонезу, %
1 доба	99
7 діб	98
14 діб	97
21 доба	96
28 діб	95
35 діб	94

Аналіз отриманих даних значень зміни стійкості розробленого зразку майонезу свідчить, що при зберіганні значення стійкості зменшується, але не досягає критичних значень.

Результати мікробіологічної оцінки майонезу з використанням емульгатору тваринного походження наведені у таблиці 11.

Таблиця 11

Результати мікробіологічної оцінки майонезів

Показник	Значення
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 0,01 г	Не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не виявлено
Дріжджі, КУО в 1 см ³	1·10
Плісняві гриби, КУО в 1 см ³	Не виявлено
Умовно-патогенні мікроорганізми (стафілокок)	Не виявлено

Отже, можна зробити висновок, що мікробіологічні показники дослідженого майонезу знаходяться у межах норми і відповідають ДСТУ 4487:2015 «Майонези. Загальні технічні умови».

Наступним етапом роботи було визначення можливості використання білкового ізоляту в якості емульгатору, тобто проведення заміни емульгатору тваринного походження на емульгатор рослинного походження.

В попередньому дослідженні встановлено, що найбільший вміст білку має жмих з голонасінного гарбуза, крім того і процес вилучення білкового ізоляту з цього виду рослинної сировини був легшим в порівнянні з іншими видами рослинних продуктів. Тому в подальшій роботі в якості емульгатору рослинного походження використовували ізолят білку зі жмиху голонасінного гарбузу.

Одержаний ізолят білку використовували в рецептурі майонезу в якості заміни яєчного порошку в кількості 8,5 і 10 %. Яєчний порошок містить 9 % холестеролу, його не рекомендується вживати людям літнього віку та хворим на гіперхолестеринемію. Тому на сьогоднішній день розробка рецептур низькокалорійних майонезів на основі білкових продуктів з відходів рослинної сировини без використання яєчного порошку є актуальним завданням.

Рецептури майонезів з використанням білкового ізоляту наведені в таблиці 12. За смаком одержаний майонез вже був збалансований за вмістом солі, це пояснюється не досить повним вилученням надлишку хлориду натрію під час промивання осаду білкового ізоляту.

Таблиця 12

Рецептурні співвідношення дослідних зразків майонезу у відсотковому співвідношенні

№ з/п	Сировина	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
1	Соняшникова олія, %	45,5	45,5	45,5
2	Олія з зародків пшениці, %	19,5	19,5	19,5
3	Яєчний порошок, %	8,5	-	-
4	Ізолят білку, %	-	8,5	10,0
5	Сіль кухонна, %	1,7	-	-
6	Фруктоза, %	0,625	0,625	0,625
7	Гірчичний порошок, %	2,0	2,0	2,0
8	Лимонний сік, %	2,1	2,1	2,1
9	Насіння льону, %	0,5	0,5	0,5
10	Вода очищена, %	решта	решта	решта

Купаж олій готували наступним чином: соняшкову і олію з зародків пшениці попередньо підігрівали до 30°C і перемішували протягом 10 хвилин. За першим рецептом яєчний порошок заливали підігрітою до 30°C водою та перемішували протягом 20 хвилин. Яєчну суміш,

олію, гірчичний порошок, лимонний сік, сіль, фруктозу та насіння льону в необхідній кількості поміщали в чашу блендера, змішували протягом 60 секунд до утворення стійкої емульсії. За другим і третім рецептом білковий ізолят заливали підігрітою до 30°C водою та настоювали протягом 20 хвилин. Білкову суміш, олію, гірчичний порошок, лимонний сік, фруктозу та насіння льону в необхідній кількості поміщали в чашу блендера, змішували протягом 60 секунд до утворення стійкої емульсії. Безпосередньо після виготовлення майонезу провели дослідження його якості. Відбір проб і визначення вмісту жиру та кислотності здійснювали згідно ДСТУ 4487:2015 «Майонези. Правила приймання та випробування».

Органолептичні показники якості встановлювали на підставі коефіцієнтів вагомості з використанням профільного методу, результати наведені в таблиці 13.

Таблиця 13

Органолептичні показники якості дослідних зразків майонезу

Номер зразка	Зовнішній вигляд	Консистенція	Колір	Запах	Смак	Загальна оцінка
Коефіцієнт вагомості	0,15	0,1	0,15	0,3	0,3	1
Зразок №1	5	5	4	5	5	4,70
Зразок №2	5	5	5	5	5	5,00
Зразок №3	5	5	5	5	4	4,70

Зовнішній вигляд, консистенція та запах усіх зразків були оцінені на 5, а от смак і колір зразків різнився. Органолептичний профіль дослідних зразків наведений на рис. 2. За проведеною органолептичною оцінкою можна зробити висновок, що зразок №2 має найкращі результати.

Результати визначення показників якості дослідних зразків майонезу наведені в таблиці 14.

Представлені результати досліджень свідчать про те, що фізико-хімічні показники якості дослідних зразків відповідають даним нормативних документів.

Встановлено, що найкращі показники якості має рецептура майонезу зразку №2, жирова основа якого складається зі 70 % рафінованої дезодорованої соняшникової олії і 30 % олії з зародків пшениці, в якості емульгатору використовується ізолят білку, який вилучений зі шроту голонасінного гарбуза.

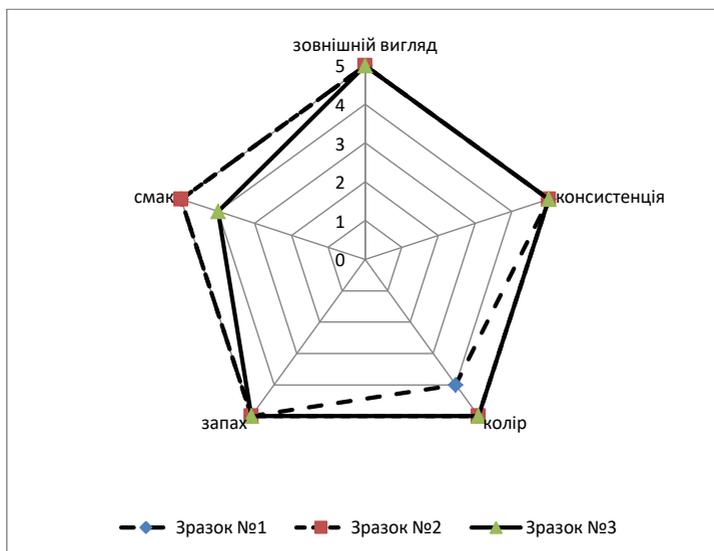


Рис. 2. Органолептичний профіль дослідних зразків майонезу

Таблиця 14

Органолептичні та фізико-хімічні показники дослідних майонезів

Показники	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
Зовнішній вигляд, консистенція	Однорідний кремоподібний продукт, з поодинокими бульбашками повітря		
Колір	Однорідний, кремувато-жовтий	Однорідний, кремувато-білий	
Смак	Притаманний традиційному майонезу		
Запах	Притаманний традиційному майонезу		
Масова частка води, %	13,60	16,86	17,31
Масова частка жиру, %	65	65,0	65,0
Кислотне число, %	0,07	0,149	0,152
Стійкість емульсії, %	99	99	99
pH середовище	4	4,2	4,2

Для подальшого дослідження було обрано зразок майонезу №2 з меншим вмістом емульгатору рослинного походження.

Кислотність розробленого майонезу визначали протягом 35 діб з метою встановлення оптимального строку зберігання готової продукції. Результати визначення кислотного числа зразку майонезу наведені в таблиці 15.

Таблиця 15

Визначення кислотності досліджуваного майонезу

Строк зберігання	Кислотність майонезу, %
1 доба	0,149
7 діб	0,16
14 діб	0,17
21 доба	0,18
28 діб	0,19
35 діб	0,21

Аналізуючи отримані дані, бачимо, що при зберіганні спостерігається підвищення кислотності майонезу, але отримані дані не перевищують норм ДСТУ 4487:2015. Виходячи з отриманих даних, рекомендований строк зберігання майонезу становить 35 діб при температурі $1 \div 6^{\circ}\text{C}$.

Також було проведено визначення стійкості досліджуемого зразку майонезу. Результати дослідження стійкості наведені в таблиці 16.

Таблиця 16

Визначення стійкості досліджуваного майонезу

Строк зберігання	Стійкість майонезу, %
1 доба	99
7 діб	98
14 діб	97
21 доба	96
28 діб	94
35 діб	94

Аналіз отриманих даних значень зміни стійкості розробленого зразку майонезу свідчить, що при зберіганні значення стійкості зменшується, але не досягає критичних значень.

За мікробіологічними показниками майонез повинен відповідати стандарту ДСТУ 4487:2015 «Майонези. Загальні технічні умови». Відповідні мікробіологічні показники наведені у табл. 17.

Таблиця 17

Мікробіологічні показники майонезів

Назва показника	Норма
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 0,01 г	Не дозволено
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не дозволено
Дріжджі, КУО в 1 см^3 , не більше ніж	$1 \cdot 10^3$
Плісняві гриби, КУО в 1 см^3 , не більше ніж	$1 \cdot 10$

В даній роботі при проведенні мікробіологічного дослідження майонезу визначали: загальне мікробне число в 1 г виробу, характер мікрофлори, БГКП, кількість дріжджів та грибів.

Стерилізація посуду. Чашки Петрі, піпетки, шпатели стерилізували сухим жаром загорненими у папір при 160°C 1 годину.

Приготування живильних середовищ. Для визначення кількості дріжджів та пліснявих грибів у майонезі використовували середовище Сабуро. Для визначення БГКП використовували середовище Ендо.

Сухі середовища Сабуро та Ендо у зазначеній на етикетці кількості розчинили в 1 дм³ дистильованої води і кип'ятили до повного розчинення компонентів, потім фільтрували. рН середовища Сабуро становило 5,6±0,2, середовища Ендо – 7,5±0,2. Середовища розлили у колби по 250 см³ і стерилізували в автоклаві 15 хвилин при 1,1 атм (120-122°C). Охолоджені до температури 45-50°C середовища розлили по 20-25 мл у стерильні чашки Петрі.

Приготування розведень. З наважки майонезу масою 10 г готували вихідне і ряд десятикратних розбавлень. Для приготування розведень використовували стерильну дистильовану воду. Вихідне або основне розведення містило в 1 см³ 0,1 г майонезу (1·10⁻¹). Його отримали перенесенням наважки 10 г (см³) майонезу в приготовлений розчин для розведення (колба з 90 см³ стерильної дистильованої води). Стерильною піпеткою ретельно перемішали вміст основного розведення і перенесли 1 см³ його у пробірку з 9 см³ розчинника так, щоб піпетка не торкалася розчину. Одержали таким чином друге розведення, 1 см³ якого містив 0,01 г (см³) продукту – розведення (1·10⁻²). Вміст пробірки другого розведення перемішали новою стерильною піпеткою, відібрали 1 см³ і перенесли у пробірку з 9 см³ стерильної дистильованої води так, щоб піпетка не торкалася поверхні розчину. Перемішали новою стерильною піпеткою. Третє розведення містило 0,001 г (см³) майонезу в 1 см³ (1·10⁻³).

Визначення кількості дріжджів та пліснявих грибів у зразках майонезу

В кожному чашку Петрі зі стерильним середовищем Сабуро та попередньо промаркованою кришкою внесли проби з розведень 1:10 та 1:100, рівномірно розподілили проби по поверхні середовища шпателем Дригальського. На кожне розведення робили три паралельні висіви у чашки Петрі. Чашки з посівами інкубували у термостаті за температури 24±1°C протягом 5 діб з попереднім підрахунком через 3 доби.

Визначення бактерій групи кишкових паличок (БГКП)

По 1 см³ розведень майонезу 1:100 засівали у чашки Петрі зі стерильним середовищем Ендо. Чашки інкубували у термостаті при температурі 37°C 18-24 год.

Визначення кількості колоній мікроорганізмів у чашках Петрі

Кількість колоній дріжджів, пліснявих грибів та БГКП в 1 г майонезу (X) в КУО обчислювали за формулою:

$$X = n \cdot 10m ,$$

де n – середнє арифметичне число колоній; m – число десятикратних розведень.

При остаточному підрахунку визначали середнє арифметичне результатів, які обчислили за паралельними чашками.

Мікроскопічне дослідження колоній мікроорганізмів

Тимчасові та фіксовані препарати зразків колоній, які утворилися на поверхні чашок Петрі, розглядали у світловий мікроскоп при збільшенні 10x40.

При аналізі росту мікроорганізмів на поверхні середовища Сабуро для зразку майонезу з використанням емульгатору рослинного походження розведення 1:10 були виявлені колонії білувато-жовтого кольору, слизької консистенції, за морфологічними ознаками подібні до колоній дріжджів. Проведене мікроскопічне дослідження колоній за розміром і морфологією клітин підтвердило їх приналежність до дріжджів.

Пухнастих павутиноподібних колоній на поверхні середовища Сабуро у жодній чашці Петрі виявлено не було, що говорить про відсутність пліснявих грибів або їх спор у досліджених зразках майонезу.

На поверхні середовища Ендо росту колоній, типових для коліформних бактерій, виявлено не було.

Результати мікробіологічної оцінки майонезу з використанням емульгаторів рослинного походження наведені у таблиці 18.

Отже, можна зробити висновок, що мікробіологічні показники усіх видів майонезів знаходяться у межах норми і відповідають ДСТУ 4487:2015 «Майонези. Загальні технічні умови».

Таблиця 18

Результати мікробіологічної оцінки майонезу з використанням емульгатору рослинного походження

Показник	Значення
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 0,01 г	Не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не виявлено
Дріжджі, КУО в 1 см ³	1·10
Плісняві гриби, КУО в 1 см ³	Не виявлено
Умовно-патогенні мікроорганізми (стафілокок)	Не виявлено

Таким чином, в представленій роботі показана заміна емульгатора яєчного порошку на білковий ізолят зі шроту голонасінного гарбузу. Необхідна

стійкість емульсії досягається при меншому вмісті емульгатору рослинного походження у порівнянні з традиційним емульгатором тваринного походження. Одержаний майонез має гарні органолептичні і фізико-хімічні показники і є перспективним продуктом для ринку харчових продуктів в Україні. Розробка промислової технології виробництва білкового ізоляту з гарбузового шроту дозволить провести повну заміну в рецептурі майонезу емульгатору тваринного походження на емульгатор рослинного походження.

ВИСНОВКИ

Розроблена технологія одержання білкового ізоляту зі жмиху голонасінного гарбуза. В роботі показана можливість заміни емульгатора тваринного походження на емульгатор рослинного походження. Необхідна стійкість емульсії досягається при меншому вмісті емульгатору на основі відходів рослинної сировини у порівнянні з традиційним емульгатором. Одержаний майонез має гарні органолептичні і фізико-хімічні показники і є новітнім продуктом для ринку харчових продуктів в Україні. Розробка промислової технології виробництва білкового ізоляту з гарбузового жмиху є перспективним напрямком, який дозволить провести повну заміну в рецептурі майонезу емульгатору тваринного походження на емульгатор рослинного походження. Підсумовуючи, можна сказати, що білкові ізоляти загалом використовують для збагачення продуктів харчування поживним білком, для зниження кількості жиру в харчових продуктах, для утворення більшої стійкості емульсії (в якості емульгатора). Необхідно відмити доступну вартість та безпечність такого продукту.

АНОТАЦІЯ

Для оптимальної роботи всіх органів та систем в людському організмі харчування має бути повноцінним та збалансованим, це досягається вдосконалення рецептур та технологій виробництва існуючих харчових продуктів з метою збереження поживних властивостей компонентів продукту або надання продукції нових властивостей. Особливе значення для здоров'я людини мають білки рослинного походження. Дефіцит білків в організмі людини призводить до розпаду власних білків. Білкові продукти мають високу біологічну цінність та емульгуючу здатність, їх використання у складі харчових продуктів дозволяє отримати стійкі емульсії. В роботі проведена оптимізація технології вилучення білкових продуктів з відходів переробки рослинної сировини. Технологія білкових ізолятів полягає у вилученні білків із харчового шроту або жмиху. Для проведення цього процесу необхідно використовувати нейтральний або лужний розчинник та екстрактор (будь-якого типу). Білкові ізоляти вважаються найбільш багатими

на вміст білку, адже мають в своєму складі понад 90 % білків. Ізоляти одержують за рахунок стадії екстракції білків із знежиреного борошна або шроту з подальшим виділенням самих білків із суміші. В даній роботі використовували суміш знежиреного міксу жмихів з гарбузового, конопляного, льняного насіння. В результаті проведених досліджень оптимізовано технологію вилучення білкового ізоляту із знежиреного міксу відходів рослинної сировини, визначені оптимальні режими проведення процесу. Одержано рослинний білок з відмінними органолептичними показниками. Встановлено, що при підвищенні значення рН кількість вилученого білкового ізоляту збільшується. Запропоновано використання одержаного рослинного білка з насіння голонасінного гарбуза в якості емульгатора в майонезних соусах. Для проведення дослідження використовували жмих голонасінного гарбуза з високим вмістом сирого протеїну, отриманий після вилучення олії з насіння методом холодного пресування. Одержаний ізолят білку використовували в рецептурі майонезу в якості заміни яєчного порошку в кількості 8,5 % і 10 %. За обома рецептурами одержали майонези зі стійкою емульсією. Для подальшого дослідження було обрано майонез з меншим вмістом емульгатору. Розроблений майонез має гарні органолептичні і фізико-хімічні показники і є перспективним продуктом для ринку харчових продуктів в Україні. В роботі наведені результати визначення мікробіологічних показників. При аналізі росту мікроорганізмів на поверхні середовища Сабуро були виявлені колонії дріжджів. Наявність пліснявих грибів або їх спор, а також колоній, типових для коліформних бактерій, у досліджених зразках майонезу виявлено не було. За результатами визначення зміни кислотного числа і стійкості емульсії під час зберігання встановлено рекомендований строк зберігання майонезу 35 діб при температурі 1÷6°C. Розробка промислової технології виробництва білкового ізоляту з відходів переробки рослинної сировини є перспективним напрямком. Одержані білкові продукти можуть додаватися до складу харчових продуктів з метою надання їм оздоровчих властивостей.

Література

1. Камсуліна Н.В., Скуріхіна Л.А., Губаль Л.М. Дослідження функціонально-технологічних властивостей білків із насіння соняшнику. Збірники наукових праць ХДУХТ Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі – Харків: ХДУХТ, 2015. №22 С.50-61.
2. Голуб Л.С., Водолазька А.В. Оптимізація технології вилучення білкових продуктів з відходів рослинної сировини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2024. № 3. С.5-9. <https://doi.org/10.31505/2707-174X-2024-3-1>.

3. Ivanova P., Chalova V., Koleva L., Pishtiyski I., Perifanova M. (2012) Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. V2. P.153-160. <https://doi.org/10.15547/bjags.2012.02.21>
4. Макаринська А.В., Чернега І.С., Оганесян А.А. Переваги використання білкових рослинних концентратів при виробництві комбікормової продукції. *Зернові продукти і комбікорми*. 2018. №18. С.34-39. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i3.1077>
5. Голуб Л.С., Власенко К.М. Інноваційні підходи до складання рецептур майонезних соусів з використанням нетрадиційної сировини. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2023. № 33. С.40-46. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2023-33-06>
6. Gupta A., Sharma R., Sharma S., Singh B. Oilseed as potential functional food Ingredient. *Today and Tomorrow's Printers and Publishers*. New Delhi, India. 2018. P. 25–58.
7. Teh S.S., Bekhit A.E., Carne A., Birch J. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates. *J. Food Meas. Charact.* 2013. №8. P.92–104. <https://doi.org/10.1007/s11694-013-9168-x>
8. Teh S.S. Bekhit A.E., Hakeem K.R., Jawaid M., Alothman O.Y. Utilization of Oilseed Cakes for Human Nutrition and Health Benefits. *International Publishing*. Cham, Switzerland, 2015. P. 191–229. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13847-3_10
9. Голуб Л.С., Левченко Є.П. Нові функціональні харчові продукти з використанням нетрадиційної сировини. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technologe: global trends, problems and solutions»* (Prague, 12–13 March, 2021). Prague, 2021. P.141. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-048-3>.
10. Lesia S. Holub, Yevhenii P. Levchenko, Ekaterina N. Vlasenko. Development of technology for extraction of protein isolate from pumpkin meal with its further use as emulsifier in mayonnaise recipe. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. V.30(2). P.222-228. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i2.251844>
11. Izhevskaya O. Investigation of lipids of flax seed meal and the prospect of using it in meat dishes. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2019. V.21(91). P.9-13.
12. Сова Н.А., Луценко М.В., Єфімов В.Г., Кургалін С.М. Характеристика сипких конопляних продуктів. *Вісник Національного 20 технічного університету «ХПІ»*. Нові рішення в сучасних технологіях. Харків. 2018. №45(1321). С. 207–213. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2018.45.29>

13. Preethi Ramachandran, Anju K. Dhiman, Surekha Attri. Extraction of Pectin from Ripe Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch ex. Poir) Using Eco-Friendly Technique. *Indian Journal of Ecology*. 2017. V.44 Special Issue (6). P.685-689.
14. Сова Н.А., Луценко М.В., Лобанова А.О., Грекова Н.В. Використання конопляної олії у технології майонезу. *Вісник НТУ «ХП»*, *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2019. №5(1330). С.152-159. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2019.05.20>.
15. Бахмач В. О., Пешук Л. В. Удосконалення технології майонезів з використанням рослинної сировини. *Харчова промисловість*. 2015. №15. С. 27-31. <https://doi.org/10.33270/01151801.027>
16. Осейко М. І. Технологія рослинних олій. К: Варта. 2006. 280 с.
17. Чумак Д.С., Фарісеєв А.Г. Удосконалення рецептурного складу майонезів промислового виробництва. *II науково-практична конференція «Сучасні світові тенденції розвитку науки та технологій»*. Одеса. 2020. С.156.
18. Галух Б.І., Паска М.З., Драчук У.Р. Збагачення майонезів і соусів комплексом природних антиоксидантів і біологічно активних речовин. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2015. №1 (61). С. 11-16.
19. Манк В.В., Пешук Л.В., Радзієвська І.Г. Розроблення емульсійних продуктів підвищеної біологічної цінності. *Харчова промисловість*. 2005. №4. С. 42-45.
20. Бахмач В., Притульська Н., Дядечко О. Використання рослинних білків під час виробництва майонезів. *Збірник наукових праць КДТЕУ*, Київ 2000. С.45-47.
21. Rahayu P.P, Purwadi Radiati Manab. Physico Chemical Properties of Whey Protein and Gelatine Biopolymer Using Tea Leaf. *Extract as Crosslink Materials. Curr. Res. Nutri. Food Sci.* 2015.V3(3). P.224-236. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.3.3.06>

Information about the author:

Holub Lesia Serhiivna,

Candidate of Engineering Sciences,
Senior Lecturer at the Department of technologies of natural
and synthetic polymers, fats and food products,
SEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Ukrainian State University of Science and Technologies,
8, Gagarina str., Dnipro, 49005, Ukraine

**COMPREHENSIVE STUDY OF THE CHEMICAL
COMPOSITION, AMINO ACID PROFILE
AND HISTOLOGICAL STRUCTURE
OF AFRICAN OSTRICH MEAT**

Israeli V. N., Holembovska N. V.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-14>

INTRODUCTION

Ostrich meat (*Struthio camelus*), the largest of the modern birds, has attracted increasing attention in recent decades as a promising source of dietary protein in the food industry. This is due to its unique technological, physicochemical and nutritional properties that distinguish it from meat from traditional animal species such as beef, pork or chicken. Ostrich meat is characterized by low fat content, favorable fatty acid profile, low cholesterol level and high biological value of protein, which makes it attractive for healthy nutrition, functional products and specialized diets. However, despite numerous publications on the general chemical characterization, data on the detailed amino acid composition and histological structure of ostrich meat remain fragmentary and insufficiently generalized.

Analysis of the chemical composition of meat is a basic stage in assessing its nutritional quality. In particular, studies of the protein complex and amino acid profile allow us to determine the degree of satisfaction of the body's needs for essential and non-essential amino acids, which is a key indicator of the biological value of proteins. Histological study of muscle tissue, in turn, provides a deeper understanding of the structural and functional features of meat, including the distribution of muscle fibers, connective tissue components and possible relationships between the histological organization and the physico-chemistry of the product.

A systematic study of the chemical composition, amino acid profile and histological structure of African ostrich meat is of not only scientific but also practical significance. It will contribute to expanding the database for assessing the nutritional value of alternative types of meat, developing recommendations for the food industry and dietary nutrition, as well as increasing the consumer appeal of ostrich-based products.

1. Modern ideas about the chemical composition and properties of African ostrich meat

There is currently a growing interest in the food industry in non-traditional types of meat that can serve as an alternative to conventional sources of animal protein. African ostrich (*Struthio camelus*) is considered a promising target for the development of the meat industry due to its high nutritional value and low fat content^{1 2}. Ostrich meat is characterized by a rich amino acid composition, which ensures its high biological value, and also has unique histological characteristics that affect the texture and quality of the product^{3 4}.

In recent years, African ostrich meat (*Struthio camelus*) has attracted increasing attention as a promising alternative to traditional red meat, particularly beef and pork. Its main advantage is its high content of complete protein – up to 22-24 g per 100 g of product – with a small amount of fat (1.2-2.0 g), which determines the dietary properties of this meat^{5 6}.

The nutritional value of ostrich meat is explained by its balanced amino acid profile, in particular, a significant content of essential amino acids – leucine, isoleucine, valine, lysine and threonine. By these indicators, it is not inferior to beef and chicken, and in some cases even surpasses them⁷. Due to this composition, ostrich meat is recommended for the diet of people with increased protein needs – athletes, children, the elderly, as well as patients with cardiovascular pathologies, since it contains little saturated fat and cholesterol⁸.

¹ Smith J., & Jones A. Nutritional profile of ostrich meat: A review. *Journal of Food Science*, 2018. 83(5), 1234–1241.

² Bal-Prylypko L., Nikolaenko M., Volkhova T., HOLEMBOVSKA N., Tyshchenko L., Ivaniuta A., Israelian V., Menchynska A., Shynkaruk O., & Melnik V. The study of functional and technological properties of vegetarian ice cream. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023. 17, 110–121. <https://doi.org/10.5219/1798>

³ Kumar R., Singh P., & Sharma S. Histological and biochemical analysis of ostrich muscle tissue. *Meat Science*. 2020. p. 165.

⁴ Israelian V., Palamarchuk I., Sevin S., HOLEMBOVSKA N., Prokopenko N., Ivaniuta A., Shynkaruk O., Rudyk Y., Nosevych D., & Tverezovska N. The effect of vibration massage on the salting process of ostrich meat. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2022. 16, pp. 530–544. <https://doi.org/10.5219/1775>

⁵ Sales J. Histological, biophysical and biochemical characteristics of different ostrich muscles. *Meat Science*. 1996. 42(2), pp. 119–132. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00017-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00017-8)

⁶ Horbańczuk J. O., Cooper R. G., Jóźwik A., & Kawka M. Ostrich meat – an updated review. *Part 1: Physico-chemical properties, nutritional value, health aspects and consumption*. *Animal Science Papers and Reports*. 2007. 25(4), pp. 225–232.

⁷ Girolami A., Napolitano F., Faraone D., & Braghieri A. Ostrich meat: physicochemical properties and consumer evaluation. *Meat Science*. 2003. 64(4), pp. 379–383. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00216-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00216-1)

⁸ Cooper R. G., Horbańczuk J. O., & Smith, M. T. Ostrich meat: A review. *Food Reviews International*. 1999. 15(2), pp. 191–210. <https://doi.org/10.1080/87559129909541186>

In addition, ostrich meat is a source of valuable trace elements, in particular iron (approximately 3.6 mg/100 g), zinc, as well as B vitamins, especially B₁₂, which helps prevent anaemia and maintain proper energy metabolism⁹.

Due to its sensory properties – rich dark red colour, delicate texture and pleasant aroma – ostrich meat is in demand among consumers, especially in the premium product segment¹⁰. Its culinary versatility allows it to be used in the production of a wide range of meat products, which opens up prospects for the creation of healthy and functional food products.

Studying the chemical composition and amino acid profile of African ostrich meat is important for assessing its nutritional value and possible application in dietary and functional foods¹¹. In addition, the study of the histological structure of muscle tissue helps to better understand the physical and mechanical properties of meat, which is important for the technology of its processing and preservation¹².

Therefore, a comprehensive analysis of the chemical, biochemical, and morphological characteristics of African ostrich meat is a relevant area of scientific research that will contribute to expanding the range of high-quality food products and increasing the efficiency of the meat industry.

2. Methodological foundations of research into the chemical composition and morphofunctional properties of meat

Experimental studies were conducted using modern standard and generally accepted methods of chemical, biochemical, physicochemical, functional-technological, structural-mechanical, histological, microbiological, organoleptic studies, and statistical data processing through mathematical modelling.

Preparation of samples for organoleptic, functional-technological, structural-mechanical, physicochemical and microbiological studies was carried out in accordance with DSTU 7963:2015¹³, sampling was carried out in accordance with DSTU 7992:2015¹⁴, DSTU 8051:2015¹⁵.

⁹ Horbańczuk J. O., & Wierzbicka A. Technological and nutritional properties of ostrich meat – a review. *Journal of Veterinary Research*. 2016. 60(3), pp. 273–279. <https://doi.org/10.1515/jvetres-2016-0040>

¹⁰ Strydom P. E., Frylinck L., & Smith M. F. Quality characteristics of South African beef: Palatability of muscle from different breeds, sex and age groups. *South African Journal of Animal Science*. 2000. 30(2), pp. 45–52.

¹¹ Lee H., Park S., & Kim Y. Amino acid composition and nutritional value of ostrich meat. *Food Chemistry*. 2019. 271, pp. 59–65.

¹² Petrov V., & Ivanov M. (2017). Muscle fiber histology and its impact on meat quality. *European Food Research and Technology*. 2017. 243, pp. 1781–1790.

¹³ ДСТУ 7963:2015. Продукти харчові. Готування проб для мікробіологічних аналізів. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 15 с.

¹⁴ ДСТУ 7992:2015. М'ясо та м'ясна сировина. Методи відбирання проб та органолептичного оцінювання свіжості. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 10 с.

¹⁵ ДСТУ 8051:2015. Продукти харчові. Методи відбирання проб для мікробіологічних аналізів. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 11 с.

Potential of hydrogen (pH) – by potentiometric method according to DSTU ISO 2917 – 2001¹⁶.

The mass fraction of moisture was determined by drying the product sample to a constant mass at a temperature of 100-105 ° C according to DSTU ISO 1442:2005¹⁷.

The ability to bind water was determined in three parallel determinations by pressing the test sample weighing 0.3 g with a load weighing 1 kg, sorption of water released under pressure by filter paper and determination of the amount of separated water by the area of a wet spot on filter paper according to the method.

The study of water-holding capacity was carried out by centrifugation.

The plasticity indicator was determined by pressing the sample after determining its ability to retain moisture. The area of a wet spot left by the test sample on filter paper (internal spot) was used for calculation.

The mass fraction of ash was determined by the gravimetric method after mineralization of the product sample in a muffle furnace at a temperature of 500-600 °C according to DSTU ISO 936:2008¹⁸.

The mass fraction of protein was determined according to DSTU ISO 937:2005 based on the mass fraction of total nitrogen according to the Kjeldahl method¹⁹.

The mass fraction of total fat content was determined by the Soxhlet method, which consists in extracting fat from the sample with a solvent, drying the sample, weighing and by the difference between the weighing before and after extraction according to DSTU 8380:2015²⁰.

The amino acid composition of proteins was determined by ion-exchange chromatography.

Sample preparation was carried out by acid hydrolysis, free amino acids were extracted with diluted hydrochloric acid, precipitated with sulfosalicylic acid and separated by filtration.

The content of nitrogenous extractive substances was determined by chromatographic method on a Kupol 55 chromatograph.

Structural changes in muscle tissue were studied by histological method. For this purpose, histological sections were prepared, which were

¹⁶ DSTU ISO 2917-2001. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення рН (Контрольний метод). *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2001. 10 с.

¹⁷ DSTU ISO 1442:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення вмісту вологи. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 9 с.

¹⁸ DSTU ISO 936:2008. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки загальної золи. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. 10 с.

¹⁹ DSTU ISO 937:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення вмісту азоту *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 11 с.

²⁰ DSTU 8380:2015. М'ясо та м'ясні продукти. Метод вимірювання масової частки жиру. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 10 с.

subsequently stained. The purpose of staining the sections is to differentiate the tissue structures of cells in them that have the ability to perceive certain dyes (to be stained in a certain color). For this, the sections are stained with Ehrlich's hematoxylin – 3 – 4 minutes. Washed in tap water to remove residual hematoxylin for 2 minutes. Then the sections are immersed in a 1% solution of hydrochloric acid until the sections acquire a pink colour and transferred to aqueous ammonia to neutralize hydrochloric acid until they acquire a blue colour. After that, they are washed in tap water for 2 minutes and stained with 1% aqueous eosin solution for 1 minute, rinsed and dehydrated in 2 portions of 96% ethyl alcohol – each portion for 1 minute. Then the sections are transferred to carbol-xylene, for clarification and disinfection of the sections for 1 minute, and then to xylene for another 1 minute, and the sections are embedded in glycerin-gelatin ^{21 22}.

Computer modelling, data processing and graphing were performed using Microsoft Excel for Windows 2010.

The results of the experimental studies were processed using mathematical statistics. The experimental data was analysed using the Data Analysis in Microsoft Excel. Each experiment was performed with a minimum of three to five repetitions. The acquired results were subjected to standard processing methods and are presented as average values and standard errors of the mean (\pm SEM). Statistical results were assessed using the Student's t-test, with differences considered significant at $p \leq 0,95$.

3. Comprehensive assessment of the chemical composition, biological value, and functional and technological properties of African ostrich meat

Ostrich meat is characterized by a rich chemical composition and contains all the necessary substances for the growth, development and maintenance of normal vital activity of the human body. It is known that the chemical composition of this meat partly depends on the conditions of keeping birds and the quality of their feed. Therefore, for clarity, the results we obtained were compared with the data of other researchers. The chemical composition of ostrich meat of Ukrainian production is given in comparison with the reference indicators of traditional types of domestic meat raw materials, which are characterized by high nutritional value (table 1).

²¹ ДСТУ 7353:2013. М'ясо. Методологія гістологічного визначення свіжості та ступеня витримки. Національний стандарт України. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 13 с.

²² Хомич В.Т., Баль-Прилипо Л.В. Мікροструктурний аналіз м'яса та м'ясопродуктів: навчальний посібник. Київ: Видавничий центр НУБіП України. 2018. 114 с.

Table 1

Comparative analysis of the general chemical composition of ostrich meat and traditional meat raw materials (n =3, p ≤ 0,95)

Type of raw material	Content, %				Cholesterol, mg/100 g of meat	Energy value, Kcal
	moisture	protein	fat	ash		
Ostrich meat*	75.4±2.16	22.5±1.84	0.90±0.03	1.10±0.01	43.0±3.8	98.2
Ostrich meat	76.6	20.7	1.10	1.10	65.0	93.0
Broiler chicken meat	75.3	20.6	2.60	0.90	60.0	106
Turkey meat	74.1	21.6	2.10	1.10	70.0	110
Veal	77.5	20.4	0.90	1.10	80.0	90
Beef	73.7	21.0	4.20	1.00	70.0	121
Pork bacon	54.2	17.0	27.8	1.00	60.0	318

Note * – own data

From the data in Table 1, it can be seen that African ostrich meat is not inferior in protein content to traditional types of high-quality meat raw materials, while it contains the smallest amount of intramuscular fat, which determines the relatively low energy value of the product.

Particular attention is drawn to the cholesterol content in ostrich meat, which, as a comparative analysis has shown, can vary significantly. These results are also confirmed by foreign research data. Some publications report a low cholesterol level – from 30.4 to 37.8 mg per 100 g of meat. At the same time, other researchers indicate fluctuations in cholesterol content in the range from 49.0 to 71.1 mg per 100 g.

It is known that one of the main indicators of the biological value of meat is the content and ratio of amino acids that are part of it. The results of our research in comparison with literature data are given in Table 2.

Table 2

Amino acid composition of meat proteins, mg per 100 g of product (n = 3, p ≤ 0,95)

Name of amino acids	Ostrich meat*	Ostrich meat
Essential amino acids:	10080	8770
Valine	1200±36.3	910
Isoleucine	1000±22.1	970
Leucine	1960±39.9	1600
Lysine	2000±42.3	2200
Methionine+Cystine	950±28.8	690
Threonine	1150±31.9	890

Continuation of table 2

Phenylalanine +Tyrosine	1820±486	1510
Tryptophan	Traces	-
Non-essential amino acids:	11820	10820
Alanine	1350±41.1	960
Arginine	1400±523	1410
Histidine	500±16.6	800
Proline	1100±40.4	700
Serin	950±32.2	740
Glutamic acid	3350±72.6	3630
Aspartic acid	2200±48.1	1910

Note * – own data

According to our results, the content of essential and non-essential amino acids in ostrich meat differs from the data given in the literature. This may be due to differences in feeding rations and the physiological state of the bird.

The comparative analysis shows that in terms of the content of such amino acids as leucine, threonine, lysine, methionine, isoleucine, valine, cystine, alanine and glutamic acid, ostrich meat is not inferior to traditional types of meat products (Table 3).

Table 3

Comparative analysis of the amino acid composition of ostrich meat and traditional meat raw materials (n =3, p ≤ 0,95)

Amino acid	Content, g / 100 g of meat					
	Raw material		Broiler chickens	Turkey	Beef	Pork
	Ostrich meat*	Ostrich meat				
Leucine	1.96±399	1.60	1.50	1.82	1.62	1.54
Isoleucine	1.00±22.1	0.97	0.76	1.03	0.94	0.97
Valine	1.20±36.3	0.91	0.95	1.02	1.15	1.13
Threonine	1.15±31.9	0.89	0.85	0.96	0.88	0.96
Lysine	2.00±42.3	2.20	1.70	1.93	1.74	1.63
Methionine + Cystine	0.95±28.8	0.64	0.72	0.62	0.90	0.76
Phenylalanine + Tyrosine	1.82±48.6	1.51	1.38	1.56	1.70	1.51
Tryptophan	traces	-	0.32	0.35	0.27	0.27
Histidine	0.50±16.6	0.80	0.57	0.44	0.77	0.77
Arginine	1.40±52.3	1.41	1.28	1.40	1.30	1.22
Alanine	1.35±41.1	0.96	1.24	1.32	1.36	1.21
Serin	0.95±32.2	0.74	0.86	0.86	0.90	0.73

Continuation of table 3

Glutamic acid	3.35±72.6	3.63	3.12	3.71	3.60	3.39
Aspartic acid	2.20±48.1	1.91	1.83	2.10	2.3	1.90
Glycine	0.97±26.4	0.67	1.35	1.31	0.88	0.86
Proline	1.10±40.4	0.70	0.96	0.91	0.66	0.53

Note * – own data

An important indicator of the biological value of proteins is the correspondence of the content of essential amino acids to the ideal protein (Table 4).

Table 4

Assessment of the compliance of the amino acid composition of ostrich meat with the ideal protein with the FAO/WHO scale, g/100 g of protein (n =3, p < 0,95)

Amino acid	Raw material		Ideal protein according to FAO/WHO
	Ostrich meat*	Ostrich meat	
Valine	5.3	4.38	3.90
Isoleucine	4.4	4.67	3.00
Leucine	8.7	7.72	5.90
Methionine+Cystine	4.2	3.69	2.20
Threonine	5.1	4.30	2.30
Phenylalanine+Tyrosine	8.1	7.30	3.80
Tryptophan	Traces	-	6.00
Lysine	9.0	10.64	4.50
Total	44.80	42.70	31.6

Note * – own data

As shown in Table 4, the total content of essential amino acids in ostrich meat protein exceeds their amount in the "ideal" protein. At the same time, the tryptophan index is lower, which indicates its limiting role. At the same time, the meat contains an increased content of such important amino acids for the body as leucine, methionine + cystine, threonine, phenylalanine + tyrosine and lysine.

Leucine plays a key role in protecting muscle tissue, is a source of energy, promotes the regeneration of bone, skin, and muscle tissue, and also reduces blood glucose levels and stimulates the secretion of growth hormone.

Valine is essential for muscle metabolism, repairing damaged tissue, and maintaining nitrogen balance in the body. It can also serve as a source of energy

for muscles. However, excessive amounts of valine can cause symptoms such as paresthesia (a tingling sensation on the skin)²³.

Lysine is important for proper bone formation, children's growth, calcium absorption, and for maintaining nitrogen metabolism in adults. It is involved in the synthesis of antibodies, hormones, enzymes, collagen formation, and tissue regeneration processes.

Threonine ensures normal protein metabolism, necessary for the synthesis of collagen and elastin, supports liver function and participates in fat metabolism²⁴. Thus, the ratio of essential amino acids in ostrich meat indicates its high biological value.

Additionally, protein components were evaluated according to such indicators as biological value, coefficient of variation of amino acid score, utilisation coefficient of amino acid composition, as well as the level of “excess content” of essential amino acids (Table 5).

Table 5

Indicators of the biological value of ostrich meat proteins

Indicator	Ostrich meat*	Ostrich meat
Potential biological value (PBV) of protein, %	94.64	80.16
Coefficient of difference of amino acid score, %	5.36	19.84
The utilisation coefficient of the amino acid composition of the protein U, fraction one.	0.80	0.75
Comparative excess coefficient σ , g/100 g of reference protein	8.87	-

Note * – own data

The calculated coefficient of difference of amino acid score showed that 5.36% of essential amino acids are deficient. This indicates a certain imbalance of essential amino acids in the muscle tissue of the studied ostrich meat. This is also indicated by the relatively low value of the the utilisation coefficient of the amino acid composition of the protein U, which is 0.80. For comparison, the reference value is 1.0, which indicates a high level of protein balance.

The coefficient of comparative excess of amino acid composition characterizes the number of essential amino acids that are not absorbed by the body in the composition of such an amount of protein of the studied product, which is equivalent to 100 g of reference protein. For ostrich meat, this figure is

²³ Ципріяні В.І. Гігієна харчування з основами нутриціології: підручник 2-ге видання. К.: 2007. *Медицина*. 544 с.

²⁴ Voitsekhovska L. U., Starchevoi O. M., Lyzova V. Yu., Bashkirova A. K. The effect of collagenase on the quality of beef ham products. *Bulletin of Agricultural Science*. 2007. No. 12. pp. 64-67

only 8.87 g/100 g of protein, which indicates a good balance of its amino acid composition and confirms the high quality of this raw material as a source of essential amino acids.

Given that the body fully absorbs protein only if the correct ratio of essential amino acids is present, ostrich meat can be an effective basis for the production of meat products. It is advisable to combine it with other ingredients to improve the amino acid balance of the finished product.

It is also worth considering the presence of relatively stable nitrogenous extractive substances in the meat – carnosine, anserine, carnitine, creatine and taurine. They not only form the taste and aromatic characteristics of meat products, but also have important biological significance. Determining their content in African ostrich meat allows for a deeper assessment of its nutritional value.

The results obtained in comparison with reference data on traditional types of meat of farm animals are given in Table 6 ²⁵.

Analyzing the data in Table 6, it can be concluded that in terms of the content of nitrogenous extractive substances such as carnosine, carnitine, creatine and taurine, ostrich meat is not inferior, and in some cases even surpasses the meat of traditional farm animals, in particular beef, pork and horse meat.

Table 6

Comparative analysis of the content of nitrogenous extractive substances (n =3, p<0.95)

Extractive substances	Type of raw material	
	Ostrich meat, g/100 g of meat	Traditional farm animal species, g/100 g of meat
Carnosine	184±3.17	100-300
Anserine	20.8±1.04	90-150
Carnitine	35.2±2.12	20-50
Creatine	428±5.14	200-550
Taurine	117±4.08	30-150

Considering the above indicators, it can be noted that African ostrich meat, in terms of nutritional, in particular biological value, is not only a full-fledged alternative, but also exceeds in a number of parameters the high-quality meat raw materials traditionally used in nutrition in our country. In terms of its chemical composition, ostrich meat is closest to white poultry meat, which, as is known, belongs to dietary products.

²⁵ Fedulova I., & Dragan A. Methodical approaches to the determination of intra productive prices on enterprises of meat processing industry. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2015. 3(2), pp. 285-291. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/5d9e06d2-e789-4743-b6a6-9061d7d2dea2/content#page=95>

Therefore, based on the conducted research, it can be stated that African ostrich meat is advisable to use as a raw material for the production of not only traditional meat products but also functional food products of a preventive nature – in particular, for the prevention of cardiovascular diseases, iron deficiency anaemia, and obesity.

Changes occurring in meat in the post-mortem period in different species of farm animals have a common mechanism but differ in duration. Meat in which these processes occur with deviations that affect its final properties is classified as PSE or DFD. The intensity of post-mortem processes is influenced, in particular, by the storage conditions of the products.

In particular, the solubility index of muscle proteins, especially myofibrillar proteins, can serve as an indicator of autolytic changes that determine the quality of meat raw materials. The state of protein components determines organoleptic properties, physicochemical characteristics, and functional and technological indicators, in particular, water-binding, water-holding, and fat-holding capacities ²⁶.

According to the author ²⁷, one of the characteristic features of ostrich meat is the rapid decrease in pH level in muscles after slaughter, as well as its relatively high final value after 24 hours. The initial pH level is approximately 7.2, and after 24 hours – about 6.0. In this case, in ostrich, the final pH value is reached already 2–6 hours after bleeding, while in pigs, sheep and cattle this process lasts 8–12, 24 and 36–48 hours, respectively, under similar conditions.

During our own experimental studies, it was found that 2 hours after slaughter, the pH level of ostrich meat fluctuates within 6.19–6.23, and after 24 hours of storage it decreases to 6.12. Starting from the second day, a gradual increase in this indicator is observed, which is probably associated with organic proteolysis of protein structures and an increase in the number of free polar and charged functional groups that are able to bind hydrogen ions (Figure 1).

Water is a natural component of meat and is present in it in a bound state, interacting with its structural components and forming stable structured systems. The forms and strength of the bond of water with the structural elements of tissues determine the ability of meat to retain a certain amount of moisture. The amount of bound water, as well as the nature of its distribution by form and bond strength, significantly affect the properties of meat, in particular its consistency.

²⁶ Israelyan V. M., & Shtonda O. A. *Bahatofunktsionalna dobavka dlia vyhotovlennia vyrobiv iz solenoho miasa* (Patent No. 134513, Ukraine). 2019. Ukrainian Institute of Intellectual Property <https://uapatents.com>

²⁷ Perederko L. P., & Stefuriak V. P. *Perspektyvy rozvedennia afrykanskyykh strausiv. Efektyvne ptakhivnytstvo*. 2011. (4), 34–37.

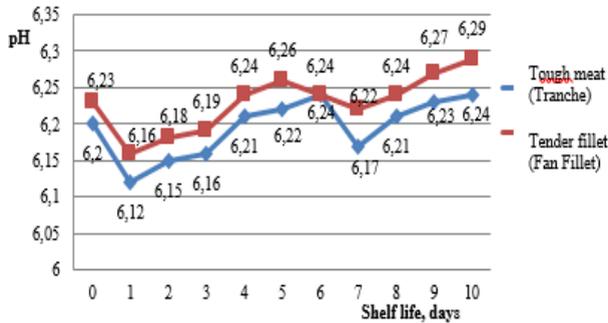


Fig. 1. Change in pH of ostrich meat depending on storage time

Since the main structural components of meat are muscle and connective tissue, it is their water-binding capacity that is of greatest practical importance. The main role in this process is played by proteins, which are the main structural material of tissues. The properties and state of proteins directly determine the ability of meat to bind and retain moisture.

During the meat ageing process, there is an increase in the hydration and solubility of muscle tissue proteins. This is due to the accumulation of free myosin, one of the most effective proteins in terms of its ability to bind moisture (Table 7, 8).

Table 7

Functional and technological indicators of changes in tough meat (Tranche) of ostrich meat in the storage process, $t = 4^{\circ}C$ ($n = 3, p \leq 0,95$)

Indicator	Shelf life, days					
	Freshly slaughtered meat	12 hours	24 hours	3 days	7 days	10 days
WBC, %	52.37±2.14	38.62±1.74	36.44±2.03	37.18±1.96	42.63±1.84	48.58±2.11
WHC, %	71.41±3.24	60.19±2.48	62.73±2.21	64.58±3.18	67.45±2.04	68.80±1.91
Plasticity, cm ² /kg	26.64±1.04	16.82±0.98	11.67±1.01	13.79±1.04	16.15±0.97	18.84±1.05

The results of the research showed that under refrigerated storage conditions ($t = 4^{\circ}C$) during 10 days of storage, there is an increase in water-binding capacity (WBC) and water-retaining capacity (WRC) in two types of meat. Thus, in tender fillet this indicator varies within 39.11–49.23%, while in tough meat – 38.62–48.58%.

Table 8

**Functional and technological indicators of the change of tender fillet
(Fan Fillet) of ostrich meat in the storage process,
t = 4 ° C (n =3, p ≤ 0,95)**

Indicator	Shelf life, days					
	Freshly slaughtered meat	12 hours	24 hours	3 days	7 days	10 days
WBC, %	52.89±1.86	39.11±2.02	37.52±1.74	40.77±2.10	43.56±1.94	49.23±2.04
WHC, %	71.94±2.14	60.87±1.85	63.33±1.93	65.49±1.98	68.14±2.04	69.17±2.07
Plasticity, cm ² / kg	27.46±0.97	18.12±1.02	12.34±1.04	14.47±0.94	17.59±0.98	19.43±0.96

An important indicator of changes in the functional and technological properties of meat is its plasticity. The results of studies of freshly slaughtered meat and chilled ostrich meat samples showed that plasticity increases in both types of meat. In the freshly slaughtered state, tender fillet has high plasticity – 27.46 cm²/kg, while the WBC is 52.89%. In tough meat, the corresponding indicators are 26.64 cm²/kg and 52.37%. This is probably due to the absence of post-mortem stiffening.

On the first day of storage, the plasticity of the tender fillet (Fan Fillet) decreased by 44.9%, and tough meat (Tranche) by 43.8%.

The results obtained indicate the high water-binding capacity and plasticity of African ostrich meat, which makes it a promising raw material for the production of functional meat products.

4. Histological and morphological features of muscle tissue of ostrich meat

Thanks to histological research methods, it is possible to determine the type of meat (pork, beef, horse meat, rabbit meat, poultry meat), its freshness, stages of aging and changes that occur in meat during storage. To obtain reliable data on these issues, a thorough knowledge of the microstructure of meat components is necessary^{28, 29}.

In the microstructural study of ostrich muscle tissue, we found that the muscle fibres are straight or wavy. Transverse striation is well expressed, the nuclei of the fibres are rod-shaped, located under the sarcolemma in the form of chains. A similar arrangement of the nuclei is characteristic of the muscle tissue of red poultry meat (Figure 2 and 3).

²⁸ Ponomarov S. M. Morphofunctional changes in muscle tissue during storage of ostrich meat. *Bulletin of Agricultural Science*. 2015. (2), pp. 45–49.

²⁹ Kuzmin O. P. Dynamics of pH indicators of ostrich meat during refrigerated storage. *Technology of meat and meat products*, 2017. (3), pp. 12–16.

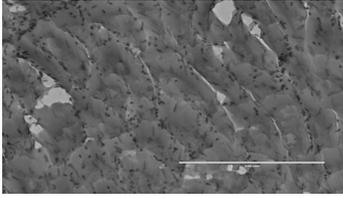


Fig. 2. Longitudinal histological section of ostrich meat at a magnification of 200um

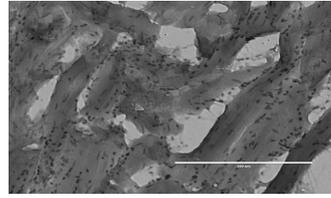


Fig. 3. Transverse histological section of ostrich meat at a magnification of 200um

Using low magnification of the microscope, variously shaped and sized voids can be observed in the endomysium and perimysium, with these areas appearing expanded. The areas of muscle fibres adjacent to the voids have noticeable depressions (Figure 4).

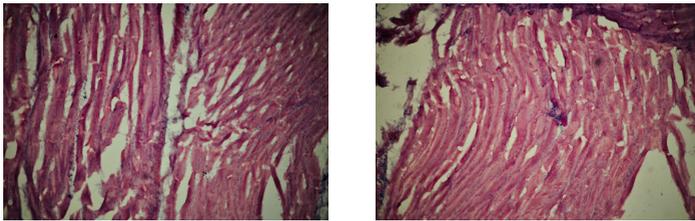


Fig. 4. Longitudinal histological section of ostrich meat with developed connective tissue

On a transverse histological section, muscle fibres are polygonal in shape, lying loosely relative to each other. Connective tissue layers are loose, lying freely (Figure 5). The microstructural analysis data allow ostrich meat to be compared with beef in terms of muscle fibre diameter, and with poultry meat in terms of the thickness of connective tissue layers.

Tenderness of meat is determined, among other things, by its morphology. Thus, histological studies of the microstructure have shown that ostrich meat is comparable to beef in terms of the diameter of muscle fibres and the density of connective tissue layers, which confirms its nutritional appeal. Poultry tissue differs from beef, primarily in that it has a significantly lower density of intramuscular perimysium and endomysium.

The tenderness of meat is largely determined by its morphological structure. Histological analysis of ostrich muscle tissue revealed that it is similar to beef in terms of the size of muscle fibres and the density of connective tissue layers

(endomysium and perimysium), which indicates the high nutritional appeal of this type of meat ³⁰. At the same time, ostrich muscle tissue has its own characteristics: compared to beef, the diameter of muscle fibres in ostrich meat is slightly smaller, and intramuscular connective tissue structures are less dense and thinner, which contributes to better tenderness of the product.

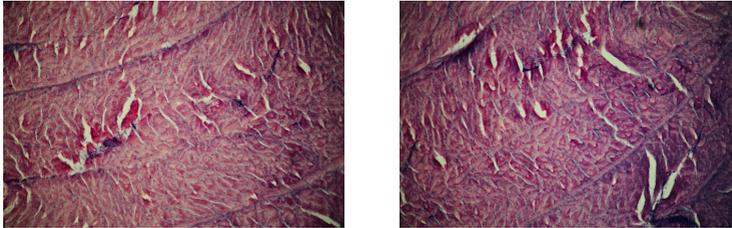


Fig. 5. Transverse histological section of ostrich meat with developed connective tissue

Compared to pork, which is characterized by an average size of muscle fibres and moderate expressiveness of connective tissue, ostrich meat is characterized by a more homogeneous structure and a smaller number of fat inclusions. Chicken meat has much thinner muscle fibres and poorly developed connective tissue layers, which makes it the most tender among the listed types of meat. However, ostrich meat has a denser texture compared to chicken, combining the properties of both red and white meat while maintaining high dietary value ³¹.

Thus, ostrich meat represents a morphologically justified alternative to conventional types of meat, offering not only tenderness but also high biological value and functional properties, which are essential for the production of meat products with enhanced nutritional value.

CONCLUSIONS

Studies have shown that African ostrich meat is a high-quality protein product with a valuable chemical and amino acid composition. Its high protein content (21.2–22.5%) and low fat content (1.2–2.0%) determine the dietary properties of this meat, which makes it suitable for diets of people with cardiovascular diseases, metabolic disorders, and overweight.

Analysis of the amino acid composition showed the presence of a wide

³⁰ Гагарін В. В. Характеристика фізико-хімічних властивостей страусино м'яса. Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі. 2019. с. 128.

³¹ Мельниченко С. М. Технологічні властивості м'ясних білків та їх вплив на якість продукції. Наукові праці ОНАХТ. 2020. 28(1), с. 98–103.

range of essential amino acids, in particular leucine, threonine, isoleucine, phenylalanine and valine, which are important for the physiological functioning of the body. The obtained amino acid score values indicate that ostrich meat proteins are able to fully meet the body's needs for essential amino acids, not inferior in this indicator to proteins from traditional types of meat.

The values of the amino acid composition utilisation coefficient, amino acid composition index, and biological value confirm the high quality of ostrich meat protein. Comparison with traditional types of meat demonstrated the advantages of ostrich meat in terms of amino acid balance, ease of digestion, and lower saturated fat content.

Given the results obtained, African ostrich meat can be recommended as a promising raw material for the production of functional, children's, sports and medical and preventive nutrition products. In the future, it is advisable to focus on studying the impact of technological processes on the preservation of its nutritional value, as well as the development of innovative food products based on this raw material.

SUMMARY

The work provides a comprehensive analysis of the chemical, amino acid composition and histological features of African ostrich meat of Ukrainian production compared to traditional types of meat raw materials (broiler chickens, turkey, beef, pork). The content of protein, fat, cholesterol, amino acids, as well as nitrogenous extractive substances (carnosine, anserine, carnitine, creatine, taurine) was investigated. Histological studies of ostrich muscle tissue were conducted, allowing for the assessment of its microscopic characteristics that influence the texture and quality of the meat. It is established that ostrich meat has a high biological value of protein, close to or higher than the "perfect" protein on the FAO/WHO scale, with a good amino acid profile and low fat and energy value. It is revealed that the amino acid composition and histological structure may vary depending on the conditions of keeping and feeding the bird. Ostrich meat is characterized as a dietary, high quality product that exceeds the traditional types of meat raw materials in a number of indicators. The results indicate the potential of using African ostrich meat for the production of both traditional and functional food products for preventive purposes.

Bibliography

1. Smith J., & Jones A. Nutritional profile of ostrich meat: A review. *Journal of Food Science*, 2018. 83(5), 1234–1241.
2. Bal-Prylypko L., Nikolaenko M., Volkhova T., HOLEMBOVSKA N., Tyshchenko L., Ivaniuta A., Israelian V., Menchynska A., Shynkaruk O., &

Melnik V. The study of functional and technological properties of vegetarian ice cream. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023. 17, 110–121. <https://doi.org/10.5219/1798>

3. Kumar R., Singh P., & Sharma S. Histological and biochemical analysis of ostrich muscle tissue. *Meat Science*. 2020. p. 165.

4. Israelian V., Palamarchuk I., Sevin S., Holembovska N., Prokopenko N., Ivaniuta A., Shynkaruk O., Rudyk Y., Nosevych D., & Tverezovska N. The effect of vibration massage on the salting process of ostrich meat. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2022. 16, pp. 530–544. <https://doi.org/10.5219/1775>

5. Sales J. Histological, biophysical and biochemical characteristics of different ostrich muscles. *Meat Science*. 1996. 42(2). pp. 119–132. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00017-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00017-8)

6. Horbańczuk J. O., Cooper R. G., Józwick A., & Kawka M. Ostrich meat – an updated review. Part I: Physico-chemical properties, nutritional value, health aspects and consumption. *Animal Science Papers and Reports*. 2007. 25(4), pp. 225–232.

7. Girolami A., Napolitano F., Faraone D., & Braghieri A. Ostrich meat: physicochemical properties and consumer evaluation. *Meat Science*. 2003. 64(4), pp. 379–383. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00216-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00216-1)

8. Cooper R. G., Horbańczuk J. O., & Smith, M. T. Ostrich meat: A review. *Food Reviews International*. 1999. 15(2), pp. 191–210. <https://doi.org/10.1080/87559129909541186>

9. Horbańczuk J. O., & Wierzbicka A. Technological and nutritional properties of ostrich meat – a review. *Journal of Veterinary Research*. 2016. 60(3), pp. 273–279. <https://doi.org/10.1515/jvetres-2016-0040>

10. Strydom P. E., Frylinck L., & Smith M. F. Quality characteristics of South African beef: Palatability of muscle from different breeds, sex and age groups. *South African Journal of Animal Science*. 2000. 30(2), pp. 45–52.

11. Lee H., Park S., & Kim Y. Amino acid composition and nutritional value of ostrich meat. *Food Chemistry*. 2019. 271, pp. 59–65.

12. Petrov V., & Ivanov M. (2017). Muscle fiber histology and its impact on meat quality. *European Food Research and Technology*. 2017. 243, pp. 1781–1790.

13. ДСТУ 7963:2015. Продукти харчові. Готування проб для мікробіологічних аналізів. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 15 с.

14. ДСТУ 7992:2015. М'ясо та м'ясна сировина. Методи відбирання проб та органолептичного оцінювання свіжості. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 10 с.

15. ДСТУ 8051:2015. Продукти харчові. Методи відбирання проб для мікробіологічних аналізів. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 11 с.
16. ДСТУ ISO 2917-2001. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення рН (Контрольний метод). *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2001. 10 с.
17. ДСТУ ISO 1442:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення вмісту вологи. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 9 с.
18. ДСТУ ISO 936:2008. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки загальної золи. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. 10 с.
19. ДСТУ ISO 937:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення вмісту азоту *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 11 с.
20. ДСТУ 8380:2015. М'ясо та м'ясні продукти. Метод вимірювання масової частки жиру. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 10 с.
21. ДСТУ 7353:2013. М'ясо. Методологія гістологічного визначення свіжості та ступеня витримки. *Національний стандарт України*. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 13 с.
22. Хомич В.Т., Баль-Прилипка Л.В. Мікроструктурний аналіз м'яса та м'ясопродуктів: навчальний посібник. Київ: Видавничий центр НУБіП України. 2018. 114 с.
23. Ципріян В.І. Гігієна харчування з основами нутриціології: підручник 2-ге видання. К.: 2007. *Медицина*. 544 с.
24. Voitsekhovska L. U., Starchevoi O. M., Lyzova V. Yu., Bashkirova A. K. The effect of collagenase on the quality of beef ham products. *Bulletin of Agricultural Science*. 2007. No. 12. pp. 64-67
25. Fedulova I., & Dragan A. Methodical approaches to the determination of intra productive prices on enterprises of meat processing industry. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2015. 3(2), pp. 285-291. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/5d9e06d2-e789-4743-b6a6-9061d7d2dea2/content#page=95>
26. Israelyan V. M., & Shtonda O. A. Bahatofunktsionalna dobavka dlia vyhotovlennia vyrobiv iz solenoho miasa (Patent No. 134513, Ukraine). 2019. Ukrainian Institute of Intellectual Property <https://uapatents.com>
27. Perederko L. P., & Stefuriak V. P. Perspektyvy rozvedennia afrykanskyykh strausiv. *Efektivne ptakhivnytstvo*. 2011. (4), 34–37.
28. Ponomarov S. M. Morphofunctional changes in muscle tissue during storage of ostrich meat. *Bulletin of Agricultural Science*. 2015. (2), pp. 45–49.

29. Kuzmin O. P. Dynamics of pH indicators of ostrich meat during refrigerated storage. *Technology of meat and meat products*, 2017. (3), pp. 12–16.

30. Гагарін В. В. Характеристика фізико-хімічних властивостей страусино м'яса. Харків: *Харківський державний університет харчування та торгівлі*. 2019. с. 128.

31. Мельниченко С. М. Технологічні властивості м'ясних білків та їх вплив на якість продукції. *Наукові праці ОНАХТ*. 2020. 28(1), с. 98–103.

Information about the authors:

Israelian Valentyna Mykolaivna,

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of technology of meat,

fish and marine products,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

15, Heroiv Oborony str., 16, Kyiv, 03041, Ukraine

Holembovska Nataliia Volodymyrivna,

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of technology of meat,

fish and marine products,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

15, Heroiv Oborony str., 16, Kyiv, 03041, Ukraine

**PARAPHARMACEUTICALS
OF PLANT ORIGIN – PAST AND FUTURE**

Kichura D. B., Subtelnyi R. O.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-15>

INTRODUCTION

The use of plants for the treatment of numerous human ailments began in ancient times. Hippocrates was convinced that plants should be used in their natural state, without any transformations. The ancient Roman physician Galen advised to grind plants, make extracts and tinctures from them in alcohol, vinegar, which are widely used in our time. Despite the rapid development of chemistry and the growth of the number of new, increasingly effective synthetic drugs, antibiotics, medicinal plants continue to occupy a significant place in the arsenal of therapeutic agents.

Prevention and treatment of purulent-septic infections continues to be one of the complex and urgent problems of modern medicine. The widespread use of antibacterial drugs not only did not justify the hopes placed on them, but also created a number of new problems that require urgent solutions. This is, first of all, the high rate of acquisition of antibiotic resistance by pyogenic microflora. The basis of this process is the uncontrolled and often insufficiently substantiated use of antibiotics in clinical practice.

Undesirable and at the same time common consequences of antibiotic therapy include allergic reactions and direct toxic effects of antibacterial drugs on the macroorganism, which develop in connection with the organotropic pharmacodynamic action. Therefore, many synthetic antimicrobial agents have not been introduced into clinical practice, and some of the existing ones have a rather limited application.

Thus, there is every reason to search for new sources of antimicrobial agents, one of which may be plant extracts. The peculiarity of extracts from medicinal plants is that their biologically active substances are in a certain ratio, which contributes to the optimal effect on the human body. Some components of plant extracts are similar in chemical structure to physiologically active substances of the body (hormones, vitamins, enzymes, etc.). Therefore, such natural medicines

are more actively included in the biochemical processes of the human body than synthetic drugs that are foreign to the body. Unlike traditional antibacterial drugs, most antibiotics of plant origin, in addition to antimicrobial action, have a pronounced positive effect on the macroorganism^{1 2}.

Phytoncides were called bactericidal, fungicidal and protistocidal substances produced by plants, which are one of the factors of their immunity and play a role in the relationships of organisms in biocenoses. A large number of volatile phytoncides are released into the atmosphere by deciduous and especially coniferous trees – several kilograms per day per 1 ha of forest. Even in the first years of research, it was established that the presence of phytoncides is not characteristic of any specific group of plants, but of the entire plant world. Any phytoncide has antibiotic properties, but not every antibiotic is identical to the phytoncide of a particular plant.

An ecological approach to the emergence of phytoncides and preparations from them (antibiotics) made it possible to explain a number of questions, for example, why penicillin is less toxic to the human body than streptomycin. From a biological point of view, treatment of humans with antibiotics is the addition of plant properties to the immunological capabilities of the human body, which determine its immunity. Therefore, phytoncides are not a random phenomenon, they are an evolutionarily developed property of plants.

The different approach to naming the antimicrobial properties of phytoncides and plant extracts is due to the fact that during any extraction, various changes in the composition and structure of substances found in plants are possible, and therefore the extracts may not always contain natural products of the plant organism. Nevertheless, extraction is a way to obtain stable antimicrobial drugs and select antibiotic producers. Therefore, plants are a promising source for obtaining antimicrobial agents. In this regard, the availability of a sufficient amount of medicinal plant raw materials for their manufacture is of great importance. Ukraine, and in particular the Carpathian region and the Carpathians, due to its natural and climatic conditions, is one of the regions of Europe rich in environmentally friendly medicinal plants.

The effect of biologically active substances of plant origin on conditionally pathogenic Gram-positive and Gram-negative microorganisms remains insufficiently studied to date. Literature data indicate the study of the action of these substances on a wide range of species of various bacteria, including opportunistic pathogens. But in the vast majority of these studies, collection

¹ Основи імунології: функції та розлади імунної системи: посібник: пер. 6-го англ. вид. / Абул К. Аббас, Ендрю Г. Ліхтман, Шив Піллай: наук. ред. пер. з англ. Валентина Чоп'яка. Київ: ВМВ «Медицина». 2020. 328 с.

² Мамчур Ф. І. Довідник з фітотерапії. Київ: Здоров'я. 1984. 264 с.

strains of the listed bacteria were used. They have been cultivated for decades in laboratory conditions, without contact with the human body, and therefore are characterized by a weakened pathogenic potential.

The study of the influence of biologically active substances of plant origin on opportunistic microorganisms isolated from clinical material, primarily their hospital strains, which are characterized by increased virulence, as well as polyantibiotic resistance, is of both theoretical and practical importance. In particular, I conducted studies of plant extracts (alcohol: 70% and 90%, acetone), as well as officinal tinctures against various strains of staphylococcus^{3 4}.

The purpose of this work is to search for biologically active substances of plant origin with antibiotic properties against staphylococcus, the infection of which is characterized by a variety of – from the most severe, generalized forms to mild: sepsis, pneumonia, meningitis, abscesses of internal organs, enterocolitis, endocarditis, gynecological diseases, staphylococcal infection with scarlet fever syndrome, purulent-inflammatory diseases of the skin and soft tissues, etc. These searches are carried out among plants of the Carpathian region, promising for the creation of new domestic antimicrobial drugs.

1. Classification of parapharmaceuticals

Parapharmaceuticals (from Latin para – near, pharmaceutics – medicines) are medicinal plants, algae, mushrooms. These are, as a rule, products containing minor food components: bioflavonoids, organic acids, glycosides, biogenic amines, regulatory oligopeptides, polysaccharides, oligosaccharides, etc. The action of parapharmaceuticals is implemented in the following areas: activation of systems involved in the development of adaptive compensatory-adaptive reactions of the body; regulation: within physiological limits of the functional activity of individual organs and systems; activity of the nervous system, including higher nervous activity; microbiocenosis of the gastrointestinal tract. These properties of parapharmaceuticals allow the human body to adapt to changed, extreme conditions, and provide additional, auxiliary therapy for various diseases, which qualitatively expands the possibilities of the main treatment methods.

Differentiation of parapharmaceuticals from medicines occurs according to the following criteria: therapeutic dose, if the dietary supplements present in the preparation do not exceed the therapeutic dose, then it is classified as parapharmaceuticals. Expected effectiveness. When using parapharmaceuticals – 8-12 weeks, no side effects⁵.

³ П'яткін К.Д., Кривошеїн Ю.С. Мікробіологія. Київ: Вища школа. 1992. 360 с.

⁴ Товстуха Є. С. Фітотерапія. Київ: Здоров'я. 2000. 340 с.

⁵ Шапіро А.В. Визначення чутливості мікроорганізмів до антибіотиків методами серійних розведень та ε

Depending on the biotechnological method of their manufacture, parapharmaceuticals are divided into several groups of dietary supplements containing products: plant synthesis, animal synthesis, microbiological synthesis (eubiotics), beekeeping, natural chemical synthesis. In the vast majority of cases, parapharmaceuticals are safe to use. Although when using parapharmaceuticals, the phenomena of individual intolerance to their individual components are not excluded, which, however, is also characteristic of some food products and even more so for medicines. Thus, parapharmaceuticals, without replacing medicines, significantly improve the quality of preventive and therapeutic measures.

Relatively recently, a little more than half a century ago, a new problem arose in science – the problem of antibiotics, the development of which has already yielded exceptionally valuable results for medical practice. The first producers of antibiotics were discovered among lower plants, fungi, actinomycetes and bacteria, and higher plants remained without attention for a long time. Only after B. P. Tokin raised the question of the antitoxin properties of vapors from propagated parts of fresh plants, thus creating the problem of phytoncides, higher plants attracted attention, and among them the search for producers of antimicrobial substances began.

The presence of antimicrobial substances is characteristic of many plants. In most families, antimicrobial drugs are obtained only from single species, but there are families in which there are significantly more species that can be a source of obtaining these substances. For example, most antimicrobial drugs are obtained from plants of the Asteraceae family, followed by Rosaceae, Liliaceae, etc. Plant species belonging to the same family may contain different antimicrobial substances, and even the same plant may contain several different substances^{6 7}.

The most common antimicrobial substances of higher plants, the most extensive in this direction are the works of Osborne, who studied 2300 species of plants and found antibacterial activity in only 160 species belonging to 63 genera. Antimicrobial substances were most often found in buttercups, the antibacterial activity of which could depend on the presence of protoanemonin in them. Then came the liliaceae, which include onions and garlic, rich in allicin or compounds close to it. The most sensitive to antibacterial substances of plant origin were Gram-positive microorganisms, less sensitive – Gram-negative. Antimicrobial substances are represented in plants by a wide variety of compounds. The most common, that is, those that occur most often, will be presented below.

⁶ Іванов С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Технологія оздоровчих харчових продуктів: підруч. Київ: НУХТ, 2015. 402 с.

⁷ Гігієна харчування з основами нутриціології: Підручник у 2-х кн. Аністратенко, Т.М. Білко, О.В. Благодарова та ін.; За ред. проф. В.І. Ципріяна. Київ: Медицина. 2017. 578 с.

Essential oils of different plants are not individual chemical substances. They include carbohydrates (aliphatic and aromatic), mono- and polycyclic terpenes and sesquiterpenes, alcohols, their esters, aldehydes, phenols and phenolic esters, ketones, organic acids, sometimes lactones, etc. Nevertheless, each essential oil has its own characteristics. Literature data indicate that almost all essential oils have more or less pronounced bacteriostatic properties. In particular, the most active essential oils against staphylococci were: *Ol. Acorus calami* (dilution 1:5000), *Ol. Artemisia absinthii* (1:1000), *Ol. Carum carvi* (1:2000), *Ol. Cinnamomi* (1:8000), *Ol. Eucalypti* (1:4000), *Ol. Ferula sp.* (1:1500), *Ol. Thymus polessicus* (1:10000 – 1:25000), *Ol. Valerianae nitidae* (1:2500 – 1:5000), *Ol. Cannabis sativa* (1:50000 – 1:100000) and others.

It is possible that the use of antimicrobial substances also takes place in the food industry, since many spices contain antibacterially active essential oils (ginger, nutmeg, cinnamon, marjoram, laurel, allspice, cloves, coriander, anise...). Balsams and resins are also not individual substances, but mixtures. Balsams with antibacterial properties include the Peruvian, Copaiba, Toluan balsams and styrax, known since ancient times. Resins (resin acids) with antimicrobial properties include resins from *Balsamea Myrrha* and *Styrax benzoin*, which contains benzoic and cinnamic acids ⁸.

Organic acids are found in large quantities in higher plants. Antimicrobial properties are possessed by haulmugrovy and hydnoкарпов, as well as usnic and gallic acids. Tannins, in particular tannin and gallic acid, have been used as antiseptics since ancient times. Many literary sources indicate that the antimicrobial properties of a number of plants are due to the presence of tannins in them, in particular, such plants are thick-leaved badan, lingonberry, common yarrow, snakeroot, erect cinquefoil, scumpia, etc. Thus, tannin exhibits a bactericidal effect in a dilution of 1:1000 – 1:5000, bacteriostatic – 1:20000 – 1:100000; pyrogallol in 1:2000 and 1:20000; hydroquinone in 1:500 and 1: 1000-2000; pyrocatechin in 1: 3500, respectively.

Of the proteins, only one has been described as an antibiotic – purothionine, which is isolated from unbleached wheat flour. It is toxic not only to bacteria, but also to animals, and also inhibits the reproduction of Gram-positive bacteria. Alkaloids and glucosides exhibit the most pronounced antimicrobial effect among all plant substances. In particular, piptanin, isoamodendrin, anabasin, hatinin, glaucine, delphonin, taspin, spherophysin, harmine, etc. have a pronounced effect on staphylococci ⁹.

⁸ Фізіологія харчування: підручник / Павлоцька Л.Ф., Дуденко Л.В., Левітін Є.Я., Цихановська І. В., Москаленко О. В., Алксандров О. В., Ілляха М. Г., Шовгопол Г. Ш. Суми: Університетська книга. 2017. 473 с.

⁹ Нутриціологія: навч. посібник / під ред. Н.В.Дуденко. Харків: Світ книг. 2013. 560 с.

2. Raw materials for herbal parapharmaceuticals and methods of its extraction

A fairly large number of extracts from medicinal plants collected in the Ivano-Frankivsk, Lviv and Zakarpattia regions were studied. Extracts were prepared from plants and their various parts (leaves, stems, flowers, roots, bark) using various solvents: alcohol (40%, 70%, 90%), acetone. In some cases, the extracts were evaporated to a certain density; in other cases, the plants were processed in the usual way for the isolation of alkaloids. The active substance was precipitated, separated from the liquid, dried, and then the dilutions necessary for research were prepared from it.

2.1.1. Culture media, equipment. To determine the sensitivity of bacteria to antibiotics, the following media are used:

№1. 1000 ml of Hottinger broth, containing 120-140 mg of amine nitrogen, 15 g of agar, 3 g of sodium phosphate dibasic;

№2. 1000 ml of meat peptone broth (1:2), 15 g of agar, 3 g of sodium phosphate dibasic;

№3. AGV (dry powder is diluted according to the instructions on the label).

To conduct screening studies, culture media are prepared according to a certain principle. A sterile Petri dish is evenly filled with a dense culture medium with a volume of 30 ml. Then, wells of the same capacity are cut in it. A suspension of one culture is sown on the dish, and then plant extracts are added alternately to the wells.

For sowing the cultures under study on a dense nutrient medium with antibiotics, replicator stamps are used for 25 or 50 cultures.

The volume of bacterial suspension or other liquid left by the replicator stamp pin on the imprint of the nutrient medium is 0.001 – 0.002 ml.

The replicator stamp ensures standardization of results, reduces the number of errors and reduces the time spent on sowing and the consumption of nutrient media compared to other methods of sowing.

A stencil for 25 or 50 zones is used for sowing, labeling cultures and recording results. This is a piece of paper with a shape and size equal to the bottom of a Petri dish. This is how the replicator pins moistened with ink are imprinted. The places are numbered from 1 to 25 or 50. Instead of a replicator stamp, you can use a Pasteur pipette.

To perform the method, you will need a thermostat at 37 degrees Celsius, a household refrigerator at +3 ... -5 degrees Celsius, stands that do not deteriorate during sterilization, bacteriological cups with a diameter of 9.5 cm, bacteriological test tubes, precipitation test tubes, Pasteur and measuring pipettes,

analytical scales, anatomical tweezers, a water bath, 0.5% NaCl solution, 10% gelatin solution, distilled water ¹⁰.

2.1.2. Preparation of nutrient media with antibiotics. When determining the clinical resistance index of a bacterium, 1 ml of nutrient media should contain a concentration equal to $\frac{1}{4}$ of the working (recommended for practical use) concentration of the antibiotic. The lower concentration of the antibiotic in the nutrient media compared to the working one was selected on the basis of special studies that showed that after the introduction of the antibiotic into the biotope, its concentration rapidly decreases.

To prepare media with antibiotics, depending on the volume of work, a certain measured amount of nutrient media (15, 30, 45, 60, 90 ml) is prepared in test tubes or volumetric flasks. For antibiotics produced by industry in dry form (powder), aliquots of the drug are added to the medium, for liquid forms – certain specified volumes of saturated or diluted solutions. If it is necessary to dilute the original solutions, sterile distilled water is used. The melted nutrient medium after the introduction of the antibiotic is thoroughly mixed and poured into 1-2 or more cups. On the bottom of sterile cups prepared for pouring agar, mark the “top” (draw a straight line at a distance of 1 cm from the edge), indicate the name and concentration of the antibiotic, and the batch number. Ready-made cups with antibiotics can be stored in the refrigerator for a week. Before sowing, the cups must be dried in a thermostat for 30-40 minutes.

When determining the MIC (minimum inhibitory concentration), the method of serial dilutions of drugs in a dense nutrient medium is used. For this, a series of nutrient media with different concentrations of antibiotics is prepared. The interval between concentrations can be double. Depending on the activity of the antibiotic, a range of concentrations is selected – from the minimum, at which all strains of a certain species grow, to the maximum, which suppresses the growth of all strains of this species.

2.1.3. Selection and preparation of cultures for research. In research for the purpose of selecting drugs, strains from patients with suppuration of wounds of mucous membranes, skin, subcutaneous tissue are used. Pure cultures of bacteria are taken for research. In closed processes, 2-3 cultures of each species that have etiological significance are studied from one pathological material; from open (associated with cavities or the external environment) pathological processes, in which the bacterial population is more heterogeneous, the sample should be larger – 5-10 cultures.

If one culture is studied, the error in determining sensitivity can reach 50%. With a large consumption of antibiotic and nutrient medium, the error

¹⁰ Барбаш В.А., Дейкун І.М. Хімія рослинних полімерів. Київ: Каравела. 2018. 440 с.

does not increase, since the same species and isolated from the same material can be mixed and tested in one sample (on one plate with nutrient medium, 25-50 cultures can be tested for sensitivity to antibiotics) ¹¹.

The cultures under study are grown in a thermostat for 18-20 hours on slanted nutrient media. The growth of the cultures is washed off with warm sterile NaCl solution with 0.1% gelatin solution and standardized to 850 million bacteria per ml (bacterial standard No. 10). Cultures of the same species and from the same material are studied separately or a mixture is prepared from them in equal volumes, so that 1 ml of the mixture has the same density (850 million/ml) ¹²

2.1.4. Technique of sowing the cultures under study on a medium with antibiotics. Before sowing, the cultures under study are assigned stencil numbers, which are entered in the research protocol. There are 2 options that give identical results. Sowing with a replicator stamp. The cultures under study are introduced into the wells of the replicator stamp bases with a Pasteur pipette. The order of introducing the cultures must correspond to the numbers assigned to them according to the stencil.

The replicator stamp pins are immersed in the wells and an imprint is made with them (for this, the pins are slightly pressed to the surface of the medium and kept for 10 s) on the antibiotic medium: one cup for each antibiotic when determining clinical and biological resistance indicators, and on a series of cups with each antibiotic when determining the MIC. For a standard seed dose, the pins are immersed in the wells with the culture before each replica. In the serial method, the culture is carried out from a lower concentration to a higher one. At the same time, a control culture is made on a nutrient medium without an antibiotic.

Culture with a Pasteur pipette. On the background of a stencil for 25 strains, small depressions are made with the open end of a sterile precipitation tube into the nutrient medium with an antibiotic – standardizing the culture zones. For culture with a pipette, the initial culture (850 million/ml) is diluted with a 0.5% NaCl solution 2 times (to a density of 425 million/ml). One drop of the suspension of the studied cultures is added to the culture zones with a Pasteur pipette. The roller made with a test tube prevents the drop from spreading. A separate pipette is taken for each culture ¹³.

¹¹ Harkenthal M, Reichling J, Geiss HK, Saller R. Comparative study on the in vitro antibacterial activity of Australian tea tree oil, cajuput oil, niaouli oil, manuka oil, kanuka oil, and eucalyptus oil. *Pharmazie* 1999 Jun;54(6):460 p.

¹² Digrak M, Ilcim A, Hakki Alma M. Antimicrobial activities of several parts of *Pinus brutia*, *Juniperus oxycedrus*, *Abies cilicia*, *Cedrus libani* and *Pinus nigra*. *Phytother Res* 1999 Nov;13(7): P. 584-587.

¹³ Adeniyi BA, Fong HH, Pezzuto JM, Luyengi L, Odelola HA. Antibacterial activity of diospyrin, isodiospyrin and bisisodiospyrin from the root of *Diospyros piscatoria* (Gurke) (Ebenaceae). *Phytother Res* 2000 Mar;14(2): P. 112-117.

The cultures are kept on the laboratory table until the cultures are absorbed, after which they are placed in a thermostat at a temperature of 37°C until the next day. The results are recorded based on the presence or absence of bacterial growth in the inoculation zones against the background of a stencil with culture numbers and in accordance with the control culture. A culture that did not grow on a medium with an antibiotic is evaluated as sensitive to a given concentration, and a culture that grew on a medium with an antibiotic (even individual colonies) is evaluated as resistant.

2.1.5. Characteristics of microorganisms of the genus Staphylococcus as an object of study. Staphylococci, like other bacteria, belong to the kingdom of Prokaryotes (Prokariotae); Division Firmicutes – Gram-positive organisms, shaped like cocci, multiply by binary fission; Class Firmibacteria; Group Gram-positive cocci; Family Micrococcaceae – these are cocci that divide in more than one plane, non-spore-forming; Genus Staphylococcus (Staphylococcus) – found on the skin, skin glands, mucous membranes of warm-blooded animals. Species: Staphylococcus aureus – causes furunculosis, postoperative complications, sepsis; Staphylococcus epidermidis; 3. Staphylococcus haemolyticus; Staphylococcus hominis;

Staphylococcus is a large group of microorganisms that differ in their characteristics. The division into pathogenic and non-pathogenic strains is rather conditional. Non-pathogenic staphylococcus, which has weakly expressed potentially pathogenic properties, under certain conditions can cause staphylococcal diseases, especially in newborns, premature babies and infants. With a decrease in the general immunobiological reactivity of the body, against the background of acute respiratory viral or other diseases, non-pathogenic staphylococcus can exhibit pathogenic properties and be the cause of the development of diseases by the autoimmune mechanism ¹⁴.

In most cases, diseases are caused by pathogenic strains of Staphylococcus aureus. In laboratory conditions, blood, milk-salt or bile-salt agar is used to cultivate staphylococcus. Depending on the characteristics of the pigment produced, colonies develop: golden, white, cream, lemon-yellow. In the broth, staphylococcus forms a uniform turbidity, and then a flake-like loose sediment at the bottom of the test tube.

Staphylococcus is able to ferment lactose, glucose, sucrose, mannose, xylene, fructose, glycerol without gas formation: to ferment milk. It does not ferment raffinose, dulcitol, inulin, does not break down starch. Staphylococcus

¹⁴ Bortolotti, P., Delpierre, C., Le Guern, R., Kipnis, E., Lebuffe, G., Lenne, X., ... & El Amrani, M. High incidence of postoperative infections after pancreaticoduodenectomy: A need for perioperative anti-infectious strategies. Infectious Disease. 2021. AJOC MGM. 51(5): P. 456-463. doi: 10.1016/j.idnow.2021.01.001. Epub 2021 Jan 9.

secretes hydrogen sulfide, does not form indole, reduces nitrates and nitrites. Staphylococcus stains Gram-positive. In smears from pure culture, their cluster-like arrangement is typical. One of the signs of pathogenicity of staphylococcus is its ability to be lysed by specific phages.

Due to the widespread invasion of antibiotics, as well as sulfonamide drugs, antibiotic-resistant strains of staphylococcus have appeared that have pathogenic properties. Therefore, staphylococcal infection can be considered as one of the forms of the disease that is the cause of epidemic outbreaks among newborns. The fight against staphylococcal diseases is complicated by the widespread distribution of staphylococcus among the population and in the human environment. Epidemiologically dangerous are especially those carriers in whom the same phage type of staphylococcus is constantly and for a long time detected¹⁵.

Staphylococcus refers to quite unpretentious microorganisms, easily adapts to environmental conditions, relatively quickly acquires resistance to antibiotics and other therapeutic agents, while maintaining its virulent properties. It has been established that under the influence of antibiotic treatment, the vegetative form of staphylococcus can transition to the L-form, which has the ability to persist in the body and reverse to the original pathogenic form when the overall immunobiological reactivity of the body decreases or due to the addition of other diseases. Staphylococcus multiplies in a wide range of temperatures (from 10 to 43 °C) in aerobic and anaerobic conditions on all simple nutrient media. Staphylococcus is most resistant to the action of various physical and chemical factors, tolerates drying, cooling, high temperatures, and is less resistant to chemical disinfectants.

The source of infection is children and adults with various diseases of staphylococcal etiology, as well as healthy carriers. Epidemiological danger is posed by children and adults with acute and chronic diseases of the upper respiratory tract, oral cavity and lungs (tonsillitis, pharyngitis, rhinitis, adenoiditis, sinusitis, periodontitis, tracheitis, tracheobronchitis, pneumonia), purulent diseases of the skin and subcutaneous tissue (pyoderma, furunculosis, phlegmon, subcutaneous abscesses) and others.

Staphylococcus does not spread independently in nature. Infection of external environmental objects depends exclusively on contact with the source of infection. Depending on the localization of the focus, staphylococcus

¹⁵ Alemu, B. K., Azeze, G. G., Wu, L., Lau, S. L., Wang, C. C., & Wang, Y. Effects of maternal probiotic supplementation on breast milk microbiome and infant gut microbiome and health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American journal of obstetrics & gynecology MFM*. 2023. 5(11). P. 301-323. *AJOG MGM*. doi: 10.1016/j.ajogmf.2023.101148. Epub 2023 Sep 1.

can be released into the external environment with sputum, mucus from the upper respiratory tract, breast milk, amniotic fluid, urine, vapors, secretions of inflammatory elements of the skin, subcutaneous tissue, middle ear, etc.

Staphylococcal diseases in children can occur as a result of exogenous and endogenous infection. Infection occurs in the following ways: airborne (when talking, coughing, sneezing); airborne (in a room with insufficient ventilation, poor cleaning quality); contact (direct contact with a patient or a carrier of bacteria, through dishes, toys, underwear ...); alimentary (infection of food products, breast milk with staphylococcus); intrauterine infection (a disease of pregnant women, then penetration occurs through amniotic fluid entering through the skin, mucous membranes of the mouth, digestive canal, airways, in case of violation of the integrity of the placenta – hematogenously); autoinfection route (transition of staphylococcus carriage into the disease) ¹⁶.

Immunity after suffering staphylococcal diseases is unstable. In the mechanism of development of immunity, both the formation of antimicrobial antibodies and antitoxic antibodies are important. In the mechanism of development of diseases caused by staphylococcus, the most important is the state of reactivity of the child's body and the biological features of the pathogen, capable of producing toxins, enzymes and other biologically active substances.

The main products of the vital activity of *Staphylococcus aureus* are toxins, which, depending on the characteristics of the action on tissues and systems of the body, have received the following names: necrotoxin (causes necrosis, suppuration in tissues, as well as vascular thrombosis); fibrinolysin (contributes to the separation of emboli from blood clots, which are complete foci of infections); lethal toxin (destructively affects individual tissue elements, causes deep reflex disorders); dermonecrotoxin (inflammatory seals on the skin, accompanied by necrosis); staphylolysins or hemolysins (destroy erythrocytes); enterotoxin (causes gastroenterocolitis). In addition to the toxic effect of staphylococcus, it causes sensitization of the body due to the presence of an allergic component in staphylococcal toxin, it also has a denaturing effect on tissues that acquire autoantigenic properties.

Of the enzymes secreted by staphylococcus in the process of its vital activity, the following are of greatest importance: fibrinolysin (separates emboli from blood clots), hyaluronidase (has a destructive effect on mucopolysaccharide – hyaluronic acid, the basis of connective tissue), coagulase (coagulates blood plasma, participates in the formation of the primary inflammatory focus), lecithinase (is important for the reproduction of staphylococcus, as well as the

¹⁶ Mingot-Ascencao, J. M. Search and selection of probiotics that improve mucositis symptoms in oncologic patients. A systematic review. *Nutrients*. 2021. 11(10). P. 2322. <https://doi.org/10.3390/>

ability to increase the permeability of the cell wall), penicillinase (reduces the therapeutic effect of penicillin and ampicillin)¹⁷.

The modern diet is dominated by simple carbohydrates, trans fats, sodium chloride, and there is insufficient consumption of fiber, omega-3 fatty acids, etc. An unbalanced diet, together with lifestyle factors such as low physical activity, smoking, and alcohol abuse, has led to a sharp increase in diseases called “diseases of civilization.” These include atherosclerosis (which has recently become much younger and is already quite common in children), type 2 diabetes (which is defined as a threat to the continued existence of humanity), arterial hypertension, osteoporosis, and other chronic non-communicable diseases. Staphylococcus is also able to produce other biologically active substances. Thus, in the mechanism of the disease, an important role belongs to staphylococcal anticoagulant, which prevents normal blood clotting; staphylococcal hemagglutinin (affects erythrocyte agglutination). Antiphagin formed by staphylococcus, which has the ability to delay phagocytosis, plays a role in the development of the disease¹⁸. The following points are important in the pathogenesis of various clinical variants of staphylococcal diseases:

- 1) the mass of infection with *Staphylococcus aureus*;
- 2) localization, activity and long course of the primary focus, which determines the possibility of hematogenous spread of staphylococcus in the body;
- 3) the state of immunobiological reactivity, which determines the severity of the body's reaction to the invasion of staphylococcus.

The main clinical forms, taking into account the role of all the above factors, as well as clinical data, it is appropriate to distinguish the following types of staphylococcal infection¹⁹:

- 1) Staphylococcal sepsis: acute, prolonged, chronic. This is a general infectious process in which microbes and their toxins constantly or periodically enter the blood (or lymphatic channels) from the local (primary) focus, are carried with the blood flow and settle in the tissues of various organs and systems.
- 2) Focal infection, which occurs with persistent staphylococcemia, but without clinical signs of sepsis. Foci of staphylococcal infection are found in

¹⁷ Li J., Jia H., Cai X., Zhong H., Feng Q., Sunagawa S., et al. An integrated catalog of reference genes in the human gut microbiome. *Nat Biotechnol* 2014. 32. P. 834–841. doi: 10.1038/nbt.2942. Epub 2014 Jul 6. PubMed PMID: 24997786.

¹⁸ Iqbal S., Quigley E.M. Progress in our understanding of the gut microbiome: implications for the clinician. *Curr Gastroenterol Rep* 2016. 18. P. 49. doi: 10.1007/s11894-016-0524-y. PubMed PMID: 27448618.

¹⁹ Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B., et al. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2014. 11. P. 506–514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66. Epub 2014 Jun 10. PubMed PMID: 24912386.

the lungs, kidneys, gallbladder, tonsils, lymph nodes, paranasal sinuses, and middle ear. This group of diseases includes: pneumonia, sinusitis and rhinitis, mesotympanitis, cholecystoangiocholitis, pyelonephritis, tonsillitis, which are often accompanied by allergic neurodermatitis, bacterial eczema.

3) Focal infection accompanied by transient staphylococemia. It is observed in acute or aggravated diseases of staphylococcal etiology: acute pneumonia, tonsillogenic intoxication, pyelonephritis, enteritis, enterocolitis, acute mesotympanitis.

4) Focal staphylococcal infection without staphylococemia. It is characterized by moderately pronounced signs of chronic intoxication. Staphylococcus is localized in the tonsils, middle ear, nasal passages, larynx and trachea, bronchi, paranasal sinuses, gallbladder, affected areas of the skin, mucous membranes. This includes chronic tonsillitis, adenoiditis, recurrent otitis, laryngotracheitis, bronchitis, rhinitis, sinusitis, minor forms of staphylococcal diseases.

5) Staphylococcus carriage. There are no symptoms of intoxication. Staphylococcus aureus is often found on the unchanged mucous membrane of the nasal passages and pharynx. It is observed in 30-50% of cases in healthy people. The most common antimicrobial substances of higher plants are the works of Osborne, who studied 2300 species of plants, and found antibacterial activity in only 160 species belonging to 63 genera.

Antimicrobial substances were most often found in buttercups, the antibacterial activity of which could depend on the presence of protoanemonin in them. Then came the liliaceae, which include onions and garlic, rich in allicin or compounds close to it. The most sensitive to antibacterial substances of plant origin were Gram-positive microorganisms, less sensitive – Gram-negative. Antimicrobial substances are represented in plants by a wide variety of compounds. The most common, that is, those that occur most often, will be presented below ²⁰.

Essential oils of different plants are not individual chemical substances. They include carbohydrates (aliphatic and aromatic), mono- and polycyclic terpenes and sesquiterpenes, alcohols, their esters, aldehydes, phenols and phenolic esters, ketones, organic acids, sometimes lactones, etc. Nevertheless, each essential oil has its own characteristics. Literature data indicate that almost all essential oils have more or less pronounced bacteriostatic properties. In particular, the most active essential oils against staphylococci were: *Ol. Acorus calami* (dilution 1:5000), *Ol. Artemisia absinthii* (1:1000), *Ol. Carum carvi* (1:2000), *Ol. Cinnamomii* (1:8000), *Ol. Eucalypti* (1:4000), *Ol. Ferula* sp.

²⁰ Floch M.H., Walker W.A., Sanders M.E., Nieuwdorp M., Kim A.S., Brenner D.A., et al. Recommendations for probiotic use. 2015 update: proceedings and consensus opinion. *J Clin Gastroenterol* 2015.49. P. 69–73. doi: 10.1097/MCG.0000000000000420. PubMed PMID: 26447969.

(1:1500), Ol. *Thymus polessicus* (1:10000 – 1:25000), Ol. *Valerianae nitidae* (1:2500 – 1:5000), Ol. *Cannabis sativa* (1:50000 – 1:100000) and others ²¹.

It is possible that the use of antimicrobial substances also takes place in the food industry, since many spices contain antibacterially active essential oils (ginger, nutmeg, cinnamon, marjoram, laurel, allspice, cloves, coriander, anise...). Balsams and resins are also not individual substances, but mixtures. Balsams with antibacterial properties include the Peruvian, Copaiba, Toluan balsams and styrax, known since ancient times. Resins (resin acids) with antimicrobial properties include resins from *Balsamea Myrrha* and *Styrax benzoin*, which contains benzoic and cinnamic acids.

Organic acids are found in large quantities in higher plants. Antimicrobial properties are possessed by haultmugrovy and hydno-karpov, as well as usnic and gallic acids. Tannins, in particular tannin and gallic acid, have been used as antiseptics since ancient times. Many literary sources indicate that the antimicrobial properties of a number of plants are due to the presence of tannins in them, in particular, such plants are thick-leaved badan, lingonberry, common yarrow, snakeroot, erect cinquefoil, scumpia, etc ²².

Thus, tannin exhibits a bactericidal effect in a dilution of 1:1000 – 1:5000, bacteriostatic – 1:20000 – 1:100000; pyrogallol in 1:2000 and 1:20000; hydroquinone in 1:500 and 1: 1000-2000; pyrocatechin in 1: 3500, respectively. Of the proteins, only one has been described as an antibiotic – purothionine, which is isolated from unbleached wheat flour. It is toxic not only to bacteria, but also to animals, and also inhibits the reproduction of Gram-positive bacteria. Alkaloids and glucosides exhibit the most pronounced antimicrobial effect among all plant substances. In particular, piptanin, isoamodendrin, anabasin, hatinin, glaucine, delphonin, taspin, spherophysin, harmine, etc. have a pronounced effect on staphylococci.

3. Antimicrobial substances from plants of certain families and their effect on bacteria of the genus *Staphylococcus*

From plants of the conifer family (Coniferales), the following antibiotics are found: pinosylvin (isolated from *Pinus silvestris* wood), inhibits the growth of *Staphylococcus aureus* at a dilution of 1:10,000-20,000; thujaplicin (wood of *Thuja plicata* and *Thuja occidentalis*) at a dilution of 1:32,000; aqueous and alcoholic extracts from juniper berries inhibit the growth of

²¹ Bäckhed F., Fraser C., Ringel Y., Sanders M.E., Sartor R.B., Sherman P.M., et al. Defining a healthy human gut microbiome: current concepts, future directions, and clinical applications. *Cell Host Microbe* 2012. 12. P. 611–622.

²² Lau C.S., Chamberlain R.S. Probiotics are effective at preventing *Clostridium difficile*-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *Int J Gen Med*. 2016. Feb 22 9. P. 27–37.

Staphylococcus. From the family of cereals (Gramineae), antibacterial activity against Staphylococcus was demonstrated by extracts of corn leaves, as well as substances isolated from wheat, one of which resembles a fatty acid, acting at a dilution of 1:250,000; another of a protein nature – purothionine, at 1:20,000.

Puhiin from the Cyperaceae family, as well as an extract of the flowering plant *Tillandsia usneoides* from the Bromeliaceae family, inhibit the growth of *Staphylococcus aureus*. Plants of the Liliaceae family are known for such an antibiotic as allicin, which has a broad spectrum of action, its bacteriostatic concentration relative to staphylococcus is 1:45,000-125,000. Its derivatives have a similar effect. From *Allium sativum*, sativin and defenzoate were isolated, which at a dilution of 1:1,000-1,600 inhibit the growth of *St. aureus* and *St. albus*, as well as alizarin, which is detrimental at a dilution of 1:50,000. From *Allium odorum*, odorin was isolated, which has an antibacterial effect on *Staphylococcus aureus*. Methylenebutyrolactone isolated from *Erythronium americanum* and essential oil of wild garlic juice (*Allium ursinum*) act on staphylococcus at a dilution of 1:2000²³.

From oak (*Quercus tinctoria*) of the beech family (Fagaceae), the flavone pigment quercetin was isolated, which is active at dilutions of 1:10000-13000. From hops of the hemp family (Cannabiaceae), humulone and lupulone were isolated, which are active on staphylococcus at a dilution of 1:30000-50000 and 1:400000-650000, respectively. Cansatin isolated from hemp (*Cannabis sativa*) inhibits the growth of *St. aureus* at a dilution of 1:10000-40000. The alkaloid substance that affected the growth of *St. aureus* in a 1:50000 dilution from water pepper (*Polygonum hydropiper*) from the buckwheat family (Polygonaceae)²⁴.

The effect of a very large number of plant extracts from different families on bacteria of the genus *Staphylococcus* has been studied. Thus, the antimicrobial activity of flavonoids and their mixtures isolated from some species of flowering plants was reported. They found that some isoflavones (osain, genistein) and flavones (quercetin, diosmetin) have antibacterial activity against spore cultures and staphylococci. Later, they conducted studies of decoctions, alcohol extracts and individual fractions containing various biologically active compounds, including polyphenolic ones.

The greatest activity against all studied crops was shown by a decoction of the aerial part of *Centaurea orientalis*, *Vicia truncatula*, *Alcea angulata*, *Malva neglecta*, *Scutellaria polyodon*; inflorescences or flowers of *Hibiscus syriacus*,

²³ Haznedaroglu M.Z., Karabay N.U., Zeybek U. Antibacterial activity of *Salvia tomentosa* essential oil. *Fitoterapia* 2001. Nov 72(7). P. 829–831.

²⁴ Hossain M.M., Paul N., Sohrab M.H., Rahman E., Rashid M.A. Antibacterial activity of *Vitex trifolia*. *Fitoterapia* 2001. Aug 72(6). P. 695–697.

Forsythia intermedia, Mimosa biuncifera; from the fruits of Feijoa sellowiana, Maclura pomifera; from the bark of the stems and leaves of Forsythia intermedia ²⁵.

It turned out that in some cases the antibacterial effect can be enhanced by the presence of flavonoids and phenolic acids. For example, Oenothera species contain hyperoside, which is easily hydrolyzed during the processing of raw materials with water or alcohol with the release of quercetin. It is active against staphylococci and spore cultures. It is also known about the high antibacterial activity of the isoflavone osain, which is contained in the fruits of Maclura pomifera. It turned out that alcoholic extracts from fruits also inhibit the growth of staphylococci and some bacilli ²⁶

Regarding Staphylococcus aureus and other microorganisms, it turned out that all the plants studied contained antibacterial substances. In most cases, the most active were phenolic and acidic fractions. However, in marsh marigolds and celandine, the most active were the fractions of basic and neutral substances. In sage and mountain ash, substances with sodium bicarbonate were isolated, which inhibited the reproduction of Staphylococcus aureus in a dilution of 1:200,000-250,000. Extremely high antibacterial activity (1:2,500,000-5,000,000) was found in acidic substances of St. John's wort. Yarrow, lingonberry, marsh marigolds showed quite high antimicrobial activity ^{27 28}.

The antibacterial activity of the vast majority of the studied substances decreased in the presence of 10% blood serum. The latest data on this issue will be presented below: Centipeda minima (Asteraceae). Sesquiterpene lactones: 6-0-methylacrylylplenolin, 6-0-isobutyrylplenolin, 6-0-apgeloylplenolin. Used in Nepalese medicine for sinusitis. Active against Bacillus subtilis and Staphylococcus aureus. Avena sativa L.s. Cultivated oat (Poaceae). In vitro: stimulates the release of IL-1, induces the production of IL-2, IFN-4 and secretion of IL-4 dose-dependently in the culture of splenocytes of mice. Increases the nonspecific resistance of animals to infection with Staphylococcus aureus. Chromolaena moritziana (Asteraceae). Dichloromethane and aqueous extract of leaves, ethyl acetate extract of flowers. Used in Venezuela as an anti-inflammatory and cleansing agent for the treatment of skin diseases. Active

²⁵ Lis-Balchin M., Buchbauer G., Ribisch K., Wenger M.T. Comparative antibacterial effects of novel Pelargonium essential oils and solvent extracts. Lett Appl Microbiol 2008. Sep 27(3). P. 135–141.

²⁶ Mandal S.C., Nandy A., Pal M., Saha B.P. Evaluation of antibacterial activity of Asparagus racemosus willd. root. Phytother Res 2000. Mar 14(2). P. 118.

²⁷ Saeed M.A., Sabir A.W. Antibacterial activity of Caesalpinia bonducella seeds. Fitoterapia 2001. Nov 72(7). P. 807–809.

²⁸ Shrimali M., Jain D.C., Darokar M.P., Sharma R.P. Antibacterial activity of Ailanthus excelsa (Roxb). Phytother Res 2001. Mar 15(2). P. 165–169.

against *Staphylococcus aureus*. Flavonoids have been identified: kaempferol, 3-O-kaempferol rutinose, rutin, isoquercetin, triterpene L-amyrin ²⁹.

Mutisia acuminata (Asteraceae). Methanolic and aqueous extracts. Active against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* (Catalano S). *Ephedra transitoria* (Ephedraceae). Quinoline alkaloid transthorine from the aerial part – 4-quinoline-2-carboxylic acid. Inhibits the growth of *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*. *Eutrema wasabi*, *Wasabia japonica* (Cruciferae). The ether extract of the stems – 6-methylsulfinylhexyl isothiocyanate and its analogues. Active against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*. *Entada abyssinica*, *Terminalia spinosa*, *Ximenia caffra*, *Azadirachta indica*, *Harrisonia abyssinica*, *Spilanthes mauritiana* (Fabaceae, Combretaceae Olacaceae, Meliaceae, Asteraceae). Extracts of the bark of the trunk, young branches, roots, leaves have antibacterial activity against staphylococci. MIC₅₀ – 0.13-8 mg / ml; MIC₉₀ – 0.5->8 mg / ml; MBC₅₀ and MBC₉₀ – 0.5-8 mg / ml ³⁰.

Micromeria nervosa, *Inula viscosa*, *Ruscus aculeatus*, *Phagnalon rupestre*, *Ziziphus spina-christi* (Asteraceae, Rhamnaceae). Alcoholic and aqueous extracts are active against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Candida albicans*. *Allium sativum* (Alliaceae). Turbidimetric method established antimicrobial activity of garlic against all tested microorganisms that can be transmitted through food: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus typhi*, *Escherichia coli* and others. Thus, garlic is recommended for extending the shelf life of semi-finished products. *Piper gibbilimum*. Alkeninphenols, gibbilimbole are cytotoxic for nasopharyngeal carcinoma cells. All exhibit antibacterial activity against *Staphylococcus epidermidis* and *Bacillus cereus*.

Melaleuca. Essential oil has antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* (Fasagali Jt). *Commiphora tenuis* Vollensa (Ethiopia). The essential oil of the bark exudate contains in the monoterpenoid fraction α -pinene (60.8%), β -pinene (8.8%), sabinene (6.3%), α -thujene (8.8%), mononene (5.5%) 3-carene (3.7%), β -myrcene (1.8), β -elemene (1.1%) α , β , γ -identified sesquiterpene components. The main triterpene component is omenolic acid acetate and 3 more triterpenes (oman-12-ene group). It has antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli* (MIC 0.5-1%) (Asres K).

Viscum capense (Loranthaceae). Inhibits the growth of *Staphylococcus aureus*. *Pelargonium* sp. (Geraniaceae). Essential oil from the leaves is a promising

²⁹ Пасальський Б.К. Хімія харчових продуктів: НП. Київ. Держ.торг.-екон.ун-т, 2000. 196 с.

³⁰ Ластухін Ю.О. Хімія природних органічних сполук. Навчальний посібник: Л: Нац. ун-т «Львівська політехніка»; Інтелект-Захід, 2005. 560 с.

antibacterial agent for cosmetology. It has a pronounced antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*. The activity of the methanol extract and the extract with petroleum ether is greater than the oil obtained by steam distillation (Lis-Balchin M). Caffeae Beverage. The acid extract is highly active against *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus mutens* 9102.

Anethum lavulolens, *Acorus gramineus* (Umbelliferales, Araceae). The hexane fraction of methanol extracts significantly reduces the manifestation of antibiotic resistance of multi-resistant *Staphylococcus aureus* (when tested against ampicillin and chloramphenicol). The active substance is carvone isolated from *Anethum lavulolens*. The active substance from *Acorus gramineus* is a liquid mixture containing phenylmethyl ester of benzoic acid (benzyl benzoate). They at a concentration of 20-50 µg/ml reduce antibiotic resistance when co-incubated with 100 and 50 µg/ml Amk and Lev, respectively.

Alichrysum trilineatum (Asteraceae). Pinocymbrin balcony has antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus*. *Lycoperricon esculentum*, Tomato (Solanaceae). Oil extract of fruit pulp has a wide spectrum of antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative microorganisms and fungi of the genus *Candidis* (*Enterobacter*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Klebsiella*, *Esherichia* – clinical strains. Antimicrobial activity is associated with a complex of organic acids (oxalic, citric, tartaric, etc.). *Cryptostegia grandiflora* (Asclepiadaceae). Leaf extract has pronounced activity against *St. aureus* NCIM-2492, *E. coli* NCIM-2345, *Bac. subtilis* NCIM-2349, *Bac. coagulans* NCIM-2323. *Paulownia tomentosa*. Butanol extract of branches has antibacterial activity against *St. aureus* (sg 511,285,503), *Str. pyogenes* (A 308, A 77), *Str. Faecium* MD 8v. The most active is campneoside (MIS-150 µg/ml). It has been established that the methoxy group in its molecule plays an important role in the manifestation of antibacterial activity.

Wedelia trilobata – ethyl acetate extract is active against *Bac. subtilis*, *Myc. smegmatis*, *St aureus*, *St. epidermidis*, *Pr. vulgaris*, *Ps. aeruginosa*, *Salmonella grav C*, *S. paratyphi*, *Sh. Sonnei*. *Hypericum perforatum* (Hypericaceae). Hyperforin (triterpene) is active against multidrug-resistant *St. aureus* and gram-negative bacteria (Schempg CM). *Mitracarpus scaber*. The alcohol extract of the aerial part of benzo-γ-soquinoline-5,10-dione is maximally active, exhibits well-defined antimicrobial activity, including against AIDS-associated microorganisms (*Bac. subtilis*, *C. albicans*, *Cript. neoformans*, *M. avium*, *St. aureus*). *Camellia sinensis*. The components of the extract reverse the methicillin-resistant staphylococci. The morphological changes are based on selective inhibition of penicillin-binding proteins.

Baccharis dracunculifolia The leaf secret, which serves as a source of bee glue – propolis, has antibacterial activity against *St. aureus*, *C. albicans*. *Buddleja*

cordaba Verbascoside. By studying the kinetics of killing and incorporation of labeled precursors, a lethal effect on *St. auricus* was established. It is based on the effect on protein synthesis and a decrease in the incorporation of leydin in. *Byrsonima crassifolia* – ethyl acetate extract of the roots is maximally active against *Pl. pneum*, *Ps. aerugin*, *S. typhi*, *Sh. flexneri*, *St. aureus*, *St. epidermidis*, *Str. pneumoniae*, *M. luteus*.

Senecio graveolens (Asteraceae). The essential oil contains valeric aldehydes: α -pinene, α -phellandrene, α -terpinene, P-cymene, sabinene, γ -terpinene, terpinolene, 1-methyl-4-isopropylbenzene, ter-pinen-4-ol, piperperone, α - β -eusemol. It has antimicrobial activity against *M. Luteus* ATCC 9341, *St. aureus*, as well as clinical isolates of *C. Albicans*. MIC – *M. Luteus* $8.73 \cdot 10^{-2}$ mg/ml; MIC – *St. aureus* $10.91 \cdot 10^{-2}$ mg/m; MIC – *C. Albic.* $2.3 \cdot 10^{-2}$ mg/ml.

Dios pyros mespiformis (Ebenaceae). Crude extracts have a wider spectrum of activity against gram-positive and gram-negative microorganisms, some strains of fungi. The maximum activity is in the chloroform extract of the roots, some of the studied extracts are sensitive to strains of *St. aureus* and strains of *Ps. aeruginosa*. Clove (Alliaceae). The extract has bactericidal activity: after 1 h. exposure kills 93% of *Staph. epidermidis*; 93% killing of *S. tipheri* is achieved after 3 h; complete killing of *Candida* is achieved after 5 h. with clove and after 1 h. with garlic.

Piper betle Leaf extract (ethyl acetate, ethanol) has a pronounced antimicrobial activity (disk method) against *St. aureus*, *Str. pneumoniae*, *Kl. aerogenes*. *Combretum erythrothylum* Antimicrobial activity against *St. aureus*, *Ent. faecalis*, *E. coli*, *Ps. aeruginosa*. *Psidium guajava*. Aqueous leaf extract exhibits antimicrobial activity against *St. aureus* (9 different strains) – in wells, disk method and turbidimetric. Complete inhibition of growth of all strains – 6.5 mg / ml. *Eysenhardtia texana* Flavanones from the aerial part are active against *St. Aureus*. *Hypericum papuanum*. Petroleum ether extract of the aerial part has antibacterial activity against *Bac. cereus*, *St. epiderm*, *Microc. luteus*. *Sophora flavescens*. Significant antibacterial activity against gram-positive bacteria – *St. aureus*, *Bac. Subtilis*, *St. epidermidis*, *Propionibacterium acne*. *Mikania micrantha* 2 sesquiterpenoids – micanolides are used in Jamaican folk medicine, active against *St. aureus* and *C. albicans*. So, as can be seen from a large number of studies by scientists from different countries of the world, plants deserve great attention regarding antimicrobial activity. That is why it is very important to reveal their various properties that are still unknown to us.

The presence of antibiotic properties in 40%, 70%, 90% ethanolic and acetone extracts of plants common in the Ciskarpattia and Carpathian regions was tested on clinical strains of *aureus*, epidermal, hemolytic and other coagulase-negative staphylococci. For comparison, a number of tinctures

and antiseptic preparations that are already widely used in medicine were studied^{31 32}.

Significant inhibition of the growth of *St. aureus* and *St. epidermidis* was observed only under the influence of biologically active substances of *Grindelia raschepirena* (n/h), *Biota orientalis* (leaves and fruits) and *Siversia montane*. At the same time, the zones of growth inhibition of *St. epidermidis* were larger compared to *Staphylococcus aureus*. The sensitivity of *Staphylococcus aureus* strains to the studied drugs was individual and did not depend on the level of their antibiotic resistance. The antibiotic-sensitive strain of *Staphylococcus epidermidis* was characterized by higher sensitivity to extracts of mugwort, black dropsy, and comfrey than antibiotic-resistant strains³³.

Of the 70% ethanol extracts, the biologically active substances of snake gourd and white willow showed the greatest activity. The sensitivity of strains of both types of staphylococci was similar. The strain of *Staphylococcus aureus*, sensitive to antibiotics, also showed weak sensitivity to some other extracts, in particular, hemlock, orange-red, and soft marigold. The antibiotic-resistant strain of *St. epidermidis* showed individual sensitivity to hemlock. Resistant strains did not show special sensitivity to 70% ethanol extracts. In this case, strains of epidermal *Staphylococcus aureus* were less sensitive to antimicrobial substances of plant origin than strains of *aureus*, which is not entirely characteristic of it, since in other studies *Staphylococcus epidermidis* shows greater sensitivity.

Strains of different types of staphylococci throughout the study period showed different sensitivity both to plant extracts and to drugs. Among the pharmaceutical preparations, peppermint tincture showed the greatest activity, it had the best effect on strains of golden and epidermal staphylococci. Strains of *Staphylococcus hominis* and *Staphylococcus haemolyticus* turned out to be quite resistant to the action of biologically active substances of plant origin. Perhaps this is due to the fact that they were mainly clinical, therefore they acquired high resistance upon contact with the human body^{34 35 36}.

³¹ Colin Ratledge, Bjorn Kristiansen Basic Biotechnology. 2001. 588 p.

³² Мельничук М.Д., Новак Т.М., Кунах А.В. Біотехнологія рослин. Київ: ПоліграфКолсантинг, 2003. 520 с.

³³ Бі Вілсон Що ми їмо? Як харчова революція змінює наші життя і світ навколо. Київ: Наш формат. 2022. 328 с.

³⁴ Goldenberg J.Z., Lytvyn L., Steurich J., Parkin P., Mahant S., Johnston B.C. Probiotics for the prevention of pediatric antibiotic-associated diarrhea. Cochrane Database Syst Rev. 2019. Apr 30 4. P. 171–191. CD004827. doi: 10.1002/14651858.CD004827.

³⁵ Ong T.G., Gordon M., Banks S.S., Thomas M.R., Akobeng A.K. Probiotics to prevent infantile colic. Cochrane Database Syst Rev. 2019. Mar 13 3(3). P. 110–119. CD012473. doi: 10.1002/14651858.CD012473.

³⁶ Ерін Ловелл Веріндер Сила трав. 2025. Київ: Сварог. 288 с.

CONCLUSIONS

They have been talked about for 30 years, but the debate has not subsided yet, and opinions are just as opposite and categorical. Opposing views usually arise because people cannot figure out this problem themselves. There is a lot of information, but it depends on who provides it, what goal they are pursuing, and what opinion they want to impose on the consumer. Many people do not trust dietary supplements because they doubt the quality of these products. Many manufacturers today cannot provide this data in full. As a result, the consumer does not know where he can get objective information. Often it is simply inaccessible, since it is found in special journals, little-known methodological developments, and legislative acts. Relatively recently, the situation with dietary supplements in our country has changed seriously. A clearly developed legislative framework regulates all aspects of the development, certification, clinical trials, and distribution of dietary supplements. If you get acquainted with this information, with data on the clinical effects of the use of dietary supplements and their distribution in the world, you may change your attitude towards them. Biologically active additives (BAD) are natural or identical to natural biologically active substances obtained from plant, animal or mineral raw materials, as well as, but much less often, by chemical or microbiological synthesis. They can be included in the composition of food products, beverages, or used independently in various forms, in order to provide the human body with the necessary amount of essential nutrients (complete proteins or individual amino acids and their complexes, polyunsaturated and fatty acids, phospholipids, vitamins, minerals). Biologically active additives appeared in Ukraine relatively recently, about 10 years ago. But today, more than 200 companies producing biologically active additives offer their products to the population of Ukraine. Possessing such an arsenal of dietary supplements, a doctor can introduce them into a diet or rational nutrition to optimize metabolic processes and functions of the human body, taking into account the state of his health. Biologically active additives are divided into 3 main categories: nutraceuticals, parapharmaceuticals and eubiotics. Nutraceuticals – dietary supplements are used to correct the chemical composition of food. Nutraceuticals are indispensable nutrients or their close predecessors. The use of nutraceuticals in the daily diet of sick and healthy people allows: – to easily and quickly eliminate the deficiency of essential nutrients, which are ubiquitously found in the majority of the adult and child population of Ukraine; – to maximally take into account the individual needs of a particular person in their nutrition, which differ significantly not only by age, gender, intensity of physical activity, but also due to genetically determined features of the metabolism of an individual, his biorhythms, environmental conditions of the

region of residence, physiological states (pregnancy, psycho-emotional stress, etc.); – to maximally ensure the changed physiological needs for nutrients of a sick person, bypass the areas of metabolic pathways damaged by the disease, and sometimes – to correct them; – by strengthening the protective elements of cellular enzyme systems, to increase the general, non-specific resistance of the body to the action of adverse environmental factors in the population living in both ecologically clean and ecologically disadvantaged regions; – primarily affect enzyme systems, purposefully change the metabolism of certain substances, in particular, xenobiotics, as well as enhance and accelerate the binding and excretion of foreign and toxic substances from the body. The use of nutraceuticals is an effective means of prevention, as well as additional (and sometimes primary) treatment of patients with widespread chronic vascular diseases, malignant neoplasms, immunodeficiency states, diseases of the gastrointestinal tract, degenerative diseases of the musculoskeletal system.

Parapharmaceuticals – dietary supplements are used for prevention, adjuvant therapy and support of the functional activity of organs and body systems. These are, as a rule, products containing minor food components – bioflavonoids, organic acids, glycosides, biogenic amines, regulatory oligopeptides, polysaccharides, oligosaccharides, etc. They have a wider range of doses than drugs, at which they exert their normalizing or correcting effect on the functions of individual organs and systems of the human body with a significantly lower probability of manifestation, in comparison with drugs, of toxic and side effects. Parapharmaceuticals are most often sources of natural food components, in most cases, do not have nutritional value, however, due to the fact that they are able to gently regulate the functions of individual organs and systems, these food components should also be considered as indispensable nutritional factors. Eubiotics (probiotics) are dietary supplements that contain living microorganisms and normalize the intestinal microflora.

The widespread use of biologically active additives, not only of the nutraceutical but also of the parapharmaceutical series, is an attempt at a new turn in the spiral of human development to once again come into harmony with nature and significantly expand its adaptive abilities in conditions of the constantly increasing impact of technogenic and socio-stressor factors. According to statistics, 70% of the population of developed countries regularly use dietary supplements. And this is not due to a new fashion, aggressive advertising or mass deception of gullible consumers. Dietary supplements could not fail to appear. The main reason for this was the "social order" – the desire of people to live a healthy life. Quitting smoking and strong alcoholic beverages, mass sports enthusiasm – all this was actively stimulated and competently regulated until it became a policy of society. But the main thing is that the population's health

indicators have really increased. For example, population health is regulated at the government level. According to very approximate data, in Ukraine, dietary supplements are still regularly used by no more than 5% of the population. However, for us, the use of these products is much more relevant than for the countries of Western Europe and America. The reasons are clear: unfavorable ecological situation, low standard of living, not always accessible medical care. For low-income people, dietary supplements can become the main way to maintain some minimum "level of health". The main principles of using food BAD: principle of: systematicity and functionality; phasing; adequacy; optimal doses; combination; syndromic principle; biorhythmological principle.

The above principles are closely intertwined and provide an opportunity to more deeply understand the place and role of correcting the chemical composition of diets using dietary supplements in order to optimize the biological action of the nutritional factor in complex therapy. The principle of systematicity and functionality must take into account that in the body there is a close relationship between the state of nutrition and the regulation of tissue catabolism and the work of regulatory systems, primarily the central nervous system. Research results indicate hierarchical connections between the hypothalamic-pituitary system and the endocrine apparatus of the duodenum and the pancreas. It has also been proven that when using certain agents that suppress the excitability of the nervous system, suppression of the functions of the immune system is observed, while stimulants of the nervous system simultaneously contribute to the increase in the function of the immune system.

Such a close relationship between the body's systems requires deep knowledge of the mechanism of action of each of the dietary supplements used in the prevention or treatment of diseases. Thus, the above provides grounds for a broader understanding of the function of diet therapy and, in particular, not only as a carrier of energy, but also as a means of high biological action on various links of metabolic processes. This is especially true of micronutrients of plant origin, which are a component of many biologically active food additives. Skillful use of the latter in order to achieve a balanced diet will contribute to the optimization of preventive and therapeutic measures, and any scientifically unfounded use of them can contribute not only to disappointment, but also to negative consequences.

The daily energy expenditure of a modern person is significantly lower than in the past. Therefore, the structure of nutrition is characterized primarily by a significant decrease in the energy value of the daily diet. Thus, according to calculations using computer modeling, the energy expenditure of an ancient person – a primitive adult hunter – amounted to 5-6 thousand kcal per day. In the early period of the development of cattle breeding and agriculture, the energy

expenditure of an adult person amounted to about 4 thousand kcal. Currently, the energy expenditure of the adult population is approximately 2 thousand kcal. In turn, this leads to the consumption of a reduced volume of food. Such a diet cannot fully satisfy the needs of the human body in micronutrients, which, according to some sources, is about 600 items. Especially if, when compiling food rations, you limit yourself to calculating only the "big four": proteins, fats, carbohydrates and calories. Free access to simplified computer programs, which have become household names for "calorie calculators", contributes to the spread of unbalanced diets among the population in terms of micronutrient composition. Deficiency of nutrients and biologically active components in the diet reduces the body's resistance to harmful environmental influences, causes immunodeficiency states, and disrupts the functions of antioxidant defense systems.

SUMMARY

The characteristic feature of the Ukrainian parapharmaceutical market is the tendency to increase the already wide range of domestic and foreign-produced goods. There is a competitive struggle for the sales market between foreign and domestic manufacturers. The former have significant financial resources to carry out work on promoting products; the latter, as a rule, lose in the competition for potential buyers due to the policy of foreign firms that use aggressive advertising, "non-advertising" means of promotion, various promotions and bonuses. Therefore, in Ukraine, there was a need for state intervention in the issue of regulating prices for the main parapharmaceuticals of foreign and domestic manufacturers. It was found that 60% of specialists supported the issue of the need to revise regulatory documents to regulate prices for parapharmaceutical products; 30% of specialists had a pessimistic view: the development and implementation of regulatory documentation, in their opinion, will not lead to significant changes in the situation that has developed on the country's parapharmaceutical market, and 10% of respondents noted that the documents do not need to be revised at all. Most respondents noted that the financial crisis for some time slowed down the processes of development and modernization of distribution companies due to a decrease in consumer demand and giving preference to medicines. Solving the problem of forming the assortment of parapharmaceuticals remains one of the priority areas of work of distributors and pharmacies. The high level of awareness and culture of the population determines the relevance of the task of further expanding the pharmacy assortment through the arrival of new parapharmaceuticals.

The parapharmaceutical market in Ukraine began to form in 1990–1997, actively developed in 1997–2004, and this process continues to this day.

Currently, its active formation is due to the arrival of new parapharmaceutical products (for hair care, facial skin care, products for athletes, for infant care, etc.). According to consumer data, the range of products that are most often purchased in pharmacies has been established. The main factors in product selection: safety, effectiveness and price. The lack of complete and truthful information among 55% of respondents affects the formation of the stereotype about the medicinal properties of parapharmaceuticals, and only 45% of consumers know that these products are used only for prevention. Pharmacists record that 40% of consumers receive their basic information from medical representatives. The need to divide parapharmaceuticals into two parts (therapeutic and prophylactic and perfumery and cosmetic products) in a pharmacy was identified by the majority (58%) of respondents. 60% of the specialists noted that it is necessary to make adjustments to the regulatory documents regarding the advertising of parapharmaceuticals by manufacturers and distributors.

Bibliography

1. Основи імунології: функції та розлади імунної системи: посібник: пер. 6-го англ. вид. / Абул К. Аббас, Ендрю Г. Ліхтман, Шив Піллай: наук. ред. пер. з англ. Валентина Чоп'яка. Київ: ВМВ «Медицина». 2020. 328 с.
2. Мамчур Ф. І. Довідник з фітотерапії. Київ: Здоров'я. 1984. 264 с.
3. П'яткін К.Д., Кривошеїн Ю.С. Мікробіологія. Київ: Вища школа. 1992. 360 с.
4. Товстуха Є. С. Фітотерапія. Київ: Здоров'я. 2000. 340 с.
5. Шапіро А.В. Визначення чутливості мікроорганізмів до антибіотиків методами серійних розведень та ϵ -тесту (лекція). Антибіотикотерапія. 2001. 3 (11). С. 11–15.
6. Іванов С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Технологія оздоровчих харчових продуктів: підруч. Київ: НУХТ, 2015. 402 с.
7. Гігієна харчування з основами нутриціології: Підручник у 2-х кн. Аністратенко, Т.М. Білко, О.В. Благодарова та ін.; За ред. проф. В.І. Ципріяна. Київ: Медицина. 2017. 578 с.
8. Фізіологія харчування: підручник / Павлоцька Л.Ф., Дуденко Л.В., Левітін Є.Я., Цихановська І. В., Москаленко О. В., Алксандров О. В., Ілляха М. Г., Шовгопол Г. Ш. Суми: Університетська книга. 2017. 473 с.
9. Нутриціологія: навч.посіб. Під ред. Н.В.Дуденко. Харків: Світ книг. 2013. 560 с.
10. Барбаш В.А., Дейкун І.М. Хімія рослинних полімерів. Київ: Каравела. 2018. 440 с.
11. Harkenthal M., Reichling J., Geiss H.K., Saller R. Comparative study on the in vitro antibacterial activity of Australian tea tree oil, cajuput oil, niaouli

oil, manuka oil, kanuka oil, and eucalyptus oil. *Pharmazie* 1999 Jun; 54(6). 460 p.

12. Digrak M., Ilcim A., Hakki Alma M. Antimicrobial activities of several parts of *Pinus brutia*, *Juniperus oxycedrus*, *Abies cilicia*, *Cedrus libani* and *Pinus nigra*. *Phytother Res.* 1999. Nov 13(7). P. 584–587.

13. Adeniyi B.A., Fong H.H., Pezzuto J.M., Luyengi L., Odelola H.A. Antibacterial activity of diospyrin, isodiospyrin and bisidiospyrin from the root of *Diospyros piscatoria* (Gurke) (Ebenaceae). *Phytother Res.* 2000. Mar 14(2). P. 112–117.

14. Bortolotti, P., Delpierre, C., Le Guern, R., Kipnis, E., Lebuffe, G., Lenne, X., ... & El Amrani, M. High incidence of postoperative infections after pancreaticoduodenectomy: A need for perioperative antiinfectious strategies. *Infectious Disease.* 2021. *AJOC MGM.* 51(5): P. 456–463. doi: 10.1016/j.idnow.2021.01.001. Epub 2021 Jan 9.

15. Alemu, B. K., Azeze, G. G., Wu, L., Lau, S. L., Wang, C. C., & Wang, Y. Effects of maternal probiotic supplementation on breast milk microbiome and infant gut microbiome and health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American journal of obstetrics & gynecology MFM.* 2023. 5(11). P. 301–323. *AJOC MGM.* doi: 10.1016/j.ajogmf.2023.101148. Epub 2023 Sep 1.

16. Mingot-Ascencao, J. M. Search and selection of probiotics that improve mucositis symptoms in oncologic patients. A systematic review. *Nutrients.* 2021. 11(10). P. 2322. <https://doi.org/10.3390/nu11102322>.

17. Li J., Jia H., Cai X., Zhong H., Feng Q., Sunagawa S., et al. An integrated catalog of reference genes in the human gut microbiome. *Nat Biotechnol.* 2014. 32. P. 834–841. doi: 10.1038/nbt.2942. Epub 2014 Jul 6. PubMed PMID: 24997786.

18. Iqbal S., Quigley E.M. Progress in our understanding of the gut microbiome: implications for the clinician. *Curr Gastroenterol Rep.* 2016. 18. P. 49. doi: 10.1007/s11894-016-0524-y. PubMed PMID: 27448618.

19. Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B., et al. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2014. 11. P. 506–514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66. Epub 2014 Jun 10. PubMed PMID: 24912386.

20. Floch M.H., Walker W.A., Sanders M.E., Nieuwdorp M., Kim A.S., Brenner D.A., et al. Recommendations for probiotic use 2015 update: proceedings and consensus opinion. *J Clin Gastroenterol.* 2015. 49 P. 69–73. doi: 10.1097/MCG.0000000000000420. PubMed PMID: 26447969.

21. Bäckhed F., Fraser C., Ringel Y., Sanders M.E., Sartor R.B., Sherman P.M., et al. Defining a healthy human gut microbiome: current concepts, future directions, and clinical applications. *Cell Host Microbe* 2012. 12. P. 611–622.
22. Lau C.S., Chamberlain R.S. Probiotics are effective at preventing *Clostridium difficile*-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *Int J Gen Med*. 2016. Feb 22. 9. P. 27–37.
23. Haznedaroglu M.Z., Karabay N.U., Zeybek U. Antibacterial activity of *Salvia tomentosa* essential oil. *Fitoterapia* 2001. Nov 72(7). P. 829–831.
24. Hossain M.M., Paul N., Sohrab M.H., Rahman E., Rashid M.A. Antibacterial activity of *Vitex trifolia*. *Fitoterapia* 2001. Aug 72(6). P. 695–697.
25. Lis-Balchin M., Buchbauer G., Ribisch K., Wenger M.T. Comparative antibacterial effects of novel *Pelargonium* essential oils and solvent extracts. *Lett Appl Microbiol* 2008. Sep 27(3). P. 135–141.
26. Mandal S.C., Nandy A., Pal M., Saha B.P. Evaluation of antibacterial activity of *Asparagus racemosus* willd. root. *Phytother Res* 2000. Mar 14(2). P.118.
27. Saeed M.A., Sabir A.W. Antibacterial activity of *Caesalpinia bonducella* seeds. *Fitoterapia* 2001. Nov 72(7). P. 807–809.
28. Shrimali M., Jain D.C., Darokar M.P., Sharma R.P. Antibacterial activity of *Ailanthus excelsa* (Roxb). *Phytother Res* 2001. Mar 15(2). P. 165–169.
29. Пасальський Б.К. Хімія харчових продуктів: НІП. Київ. Держ.торг.-екон.ун-т. 2000. 196 с.
30. Ластухін Ю.О. Хімія природних органічних сполук. Навчальний посібник: Л: Нац. ун-т «Львів. політехніка»; Інтелект-Захід, 2005. 560 с.
31. Colin Ratledge, Bjorn Kristiansen *Basic Biotechnology*. 2001. 588 p.
32. Мельничук М.Д., Новак Т.М., Кунах А.В. Біотехнологія рослин. Київ: ПоліграфКолсантингю. 2003. 520 с.
33. Бі Вілсон Що ми їмо? Як харчова революція змінює наші життя і світ навколо. Київ: Наш формат. 2022. 328 с.
34. Goldenberg J.Z., Lytvyn L., Steurich J., Parkin P., Mahant S., Johnston B.C. Probiotics for the prevention of pediatric antibiotic-associated diarrhea. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019. Apr 30 4. P. 171–191. CD004827. doi: 10.1002/14651858.CD004827.
35. Ong T.G., Gordon M., Banks S.S., Thomas M.R., Akobeng A.K. Probiotics to prevent infantile colic. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019. Mar 13 3(3). P. 110–119. CD012473. doi: 10.1002/14651858.CD012473.
36. Ерін Ловелл Веріндер Сила трав. 2025. Київ: Сварог. 288 с.

Information about the authors:

Kichura Dariia Bohdanivna,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Organic Substances,
Institute of Chemistry and Chemical Technologies,
Lviv Polytechnic National University,
12, Stepana Bandery str., Lviv, 79000, Ukraine

Subtelnyi Roman Oleksandrovych,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Organic Substances,
Institute of Chemistry and Chemical Technologies,
Lviv Polytechnic National University,
12, Stepana Bandery str., Lviv, 79000, Ukraine

PROBIOTICS IN HEALTH NUTRITION

Kichura D. B.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-16>**INTRODUCTION**

In recent years, the concepts of "probiotics", "probiotic products" have become widespread, this term in the literal translation of the two words "pro" and "bio" means "for life" in contrast to "antibiotics" – "against life". Probiotics are living microorganisms that have a positive effect on human health, which is realized in the gastrointestinal tract. Probiotic products are fermented products prepared using probiotic cultures, or products enriched with them. Fuller interprets the concept of "probiotics" as living microorganisms. Over the years, there have been several interpretations of the term "probiotic". Lilly and Stillwell first used this term to refer to metabolites produced by some microorganisms to stimulate the growth of others. The term "probiotics" in translation means "for life" in relation to a living organism, in contrast to the term "antibiotics" ("against life"). Disruption of the microbiocenoses of the human and animal body due to the widespread use of antibiotics has led to the emergence of resistance to them of pathogenic microflora. Parker proposed the term "probiotics" to refer to natural adjuvants – living microorganisms, the introduction of which into the body contributes to the maintenance and restoration of the biological balance of its normoflora and has a positive effect on it. Fuller interprets the concept of "probiotics" as living microorganisms, which, when introduced into animal feed or into human food products (yogurts), have a positive effect on the body by improving the intestinal microflora. Gibson and Robefroid call probiotics live microorganisms (for example, strains of live bacteria in yogurt), which must be present in sufficiently large quantities, remain stable and viable both during their storage and after introduction into the body, must adapt to the host organism and have a beneficial effect on its health. These same authors first proposed to introduce, along with the term "probiotics", the term "prebiotics". Unlike probiotics, prebiotics are substances or dietary ingredients that selectively stimulate the growth and biological activity of microorganisms in the intestine, which in turn positively affect the composition of the microbiocenosis. Most foreign authors include lactulose, fibrous oligosaccharides, pectin, bran,

methylcellulose, some microalgae (chlorella, spirulina), vitamins and their derivatives (pantothenic acid) as prebiotics. All existing probiotics are divided into two large groups – liquid and dry. Microorganisms in the composition of dry probiotics are in a state of a kind of "hibernation". The shelf life of dry preparations is longer than that of liquid ones, they do not require strict adherence to storage conditions. Therefore, many companies, especially foreign ones, prefer to use dry probiotics, which are stored longer and are convenient to transport. The disadvantage of dry probiotics is that when dried, the bacteria in their composition lose some of their beneficial properties, and after entering the body, they need at least 8-10 hours for the bacteria to transition from "hibernation" to an active form and begin to act. The bacteria in the composition of liquid probiotics are bacteria "with an active vital position", that is, they fully retain all their valuable properties and begin to act immediately after entering the body. Liquid probiotics contain bacteria in an active state, therefore they require strict adherence to storage conditions, and this shelf life is much shorter – no more than three months. Liquid probiotics contain not only bacteria, but also their waste products. Getting into the human body, they help restore and form the internal environment of the intestine, favorable for the growth and reproduction of beneficial microorganisms and harmful to foreign microflora. There are also reports of the ability of probiotic fermented milk products to reduce the risk of malignant neoplasms, in particular colon and breast cancer. Probiotic products include microorganisms and substances of microbial origin, which allow a natural way to enhance the beneficial effect on the physiological and biochemical processes of the human body by optimizing its microbiological status. Intensive development in recent years of the production of probiotic products is due to a decrease in the adaptive capacity of people of different age groups of the population, caused by the action of negative external and internal factors. The ability of a person to mobilize and manage his own body's forces is one of the main levers in the evolutionary development of life on Earth.

1. Classification of probiotics and application

In 1965, D. M. Lilly and R. H. Stilwell drew attention to the phenomenon of enhancing the growth of the protozoan *Tetrahymena pyriformis* by another protozoan *Colpidium campylum*, which modified the environment by producing certain substances in it. In this work, the term "probiotic" (from the Greek – "for life") was first proposed ¹. It is believed that the concept of probiotics was proposed by Nobel laureate Ilya Mechnikov, who in the late 19th and early

¹ Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. Science. 1965. 147(3659). P. 747-748. <https://doi.org/10.1126/science.147.3659.747>

20th centuries proposed the first analogues of modern probiotics based on lactic acid bacteria with high antagonistic activity against putrefactive intestinal microbiota ². It is with the ability to suppress the development of pathogenic microorganisms that the preventive and therapeutic effects of probiotics are primarily associated. In the modern sense, probiotics are live microorganisms that confer a health benefit on the host, as evidenced by R. Fuller ³. The official term and definition of “probiotic” as such were established by a joint expert consultation of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the WHO in 2001. Thus, these are live microorganisms that, when administered in adequate amounts, confer a benefit on the person who consumes them. This widely accepted definition has been used worldwide for over two decades by regulatory authorities, scientists and industry to provide a common understanding of the term ⁴. Current research continues to focus on the specific benefits and applications of probiotic strains for human and animal health.

Following the ideas of I. Mechnikov, the Bulgarian physician Stamen Grigorov in 1905 isolated *Lactobacillus bulgaricus*, now known as *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ⁵ from homemade yogurt. His discovery served as the basis for the scientific research of A. Tissier, who first described the Gram-positive non-spore-forming rods he found in the intestines of newborn children, calling them bifidobacteria, as well as the proposals of A. Gartier, who suggested using acidophilic milk fermented with acidophilic rods isolated from the intestines ⁶. Modern realities force many physicians to investigate probiotics and other alternatives to pharmaceuticals. This is due to the increasing rate of multidrug resistance among pathogenic bacteria, especially in hospitals, the increasing demand for natural alternatives to drugs, and the emergence of scientific and clinical evidence for the effectiveness of probiotic strains ^{7 8}. However, much remains to be done to standardize the meaning of the term “probiotic” and to prove which strains actually meet the criteria for true

² Співак, М. Я., Сафронова, Л. А. Пробиотики як альтернативні аптимікробні засоби. Інфекційні хвороби. 2025. Т. 1. Р. 4-8.

³ Fuller, R. Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*/ 1989. 66(5). С. 365-378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>

⁴ Probiotics: official definition, scientific requirements and vigilance points during product development. <https://www.rni-consulting.com/en/probiotics-official-definition/>

⁵ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. https://uk.wikipedia.org/wiki/Lactobacillus_delbrueckii_subsp._bulgaricus

⁶ Філімонова, Н. І., Сілаєва, Л. Ф., Дика, О. М., та ін. Мікробіологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів (2-ге вид.; за заг. ред. Н. І. Філімонової). 2019. Харків: НФаУ, Золоті сторінки. 246с.

⁷ Климнок, С. І., Волч, І. Р., Загречук, О. М., Кравець, Н. Я., Медвідь, І. І., & Михайлишин, Г. М. Мікробіом організму людини: навчальний посібник. Тернопіль: Осадна Ю. В. 2023. 263 с.

⁸ Pal, M., & Jadhav, V. J. Significance of probiotics in human health. *Beverage and food world*. 2013. P. 65-67.

probiotic microorganisms. Unfortunately, many so-called probiotic products have not been properly identified, documented, manufactured according to the required manufacturing practices, or have not been clinically proven to be effective, yet various companies claim that consumers and caregivers believe that they are using reliable products. Thus, defining standards and guidelines is a necessary first step in ensuring that probiotic products are indeed legitimate and effective.

Awareness of the possible catastrophic consequences of the further spread of serious violations of microbial ecology among the population has become one of the reasons for the intensive introduction of microbiological therapy methods into the clinic. In recent years, there has been a more active rethinking of a number of classical concepts and a transition from methods of total destruction of microflora to the search for ways to restore the natural, harmonious relationship of the human body with its own microbiomes and the exogenous world of microorganisms. That is why at the turn of the 20th and 21st centuries, medicine entered the era of probiotics. Various microorganisms are now used as probiotics (Table 1). Certain requirements are imposed on microorganisms used as the basis of probiotics: They must:

- be isolated from the organism of those species of animals and humans for which they will be intended;
- be safe for the host organism;
- not have any pathogenic or toxic effects;
- have a positive effect on the macroorganism, confirmed by laboratory studies and clinical observations;

Table 1

Microorganisms as probiotics

Microorganism	Genus	Species
bacteria	Lactobacillus	Lactobacillus L. acidophilus, L. brevis, L. bulgaricus, L. casei, L. cellobiosus, L. delbrueckii, L. fermentum, L. johnsonii, L. lactus, L. paracasei, L. plantarum, L. reuteri, L. rhamnosum, L. sporogenes
	Biofidobacterium	B. animalis, B. bifidum, B. infantis, B. longum, B. thermophilus
	Streptococcus	S. alivarius, S. cremonis, S. intermedius, S. lactis, S. thermophilus
	Bacillus	B. coagulans
	Enterobacter	E. faecium
	Enterococcus	E. faecium, E. faecalis
	Leuconostoc	L. mesenteroides
	Pediococcus	P. acidilactici

Continuation of table 1

mushrooms	Aspergillus	A. niger, A. oryzae
	Gonoderma	G. lucidum, G. sinensis, G. tsugae
yeast	Saccharomyces	S. boulardii, S. cerevisiae, S. carlsbergensis
	Monascus	M. purpureus, M. anka
	Candida	C. utilis

– when introduced in large quantities, they must have a minimal ability to translocate from the lumen of the digestive canal into the internal environment of the macroorganism;

– have a high colonization potential (be resistant to low pH values, bile acids, pancreatic secretion, antimicrobial substances);

– have a high growth and reproduction rate in conditions corresponding to the microclimate in the intestine;

– stimulate the body's immune system;

– have anticarcinogenic activity;

– adhere to intestinal epithelial cells;

– have clear physiological, biochemical and genetic marking both to exclude falsification and to periodically monitor the identity of the initial probiotic strains and production cultures;

– preserve viability during storage.

In addition, to restore or maintain the microbial ecological system, other modern means are used, presented in Table 2⁹.

Table 2

Probiotic drugs

Group of drugs	Features
Probiotic	Pharmaceutical preparations, special products and biologically active additives, the active component of which is living microorganisms; when administered naturally, they are capable of causing beneficial effects on the physiological functions, metabolic and behavioral reactions of the organism by optimizing its microecological status
A preparation based on inactivated microorganisms	Inactivated biomass of probiotic microflora
Prebiotics	Food ingredients that selectively stimulate the growth and activity of certain microbial populations, primarily representatives of the host's intestinal microbiota, thereby causing positive effects in the body

⁹ Amiri, A., Firoozeh, F., Zibaei, M., & Khaledi, A. Effects of probiotics on human health and disease: A review. *Acta Medica Bulgarica*. 2021. 48(1). P. 95-100. doi:10.2478/amb-2021-0015.

Continuation of table 2

Synbiotic	Probiotic and prebiotic complex
Metabiotic	Structural components of the cells of probiotic (symbiont) microorganisms and/or their metabolites and/or signaling molecules capable of optimizing physiological functions, regulatory, metabolic and/or behavioral responses through modification of host cells
Metabolite-type preparation	Physiologically active metabolites of probiotic microflora
Functional food product	Live microorganisms, their metabolites and/or other compounds that positively affect the intestinal microflora
Nutraceutical	Nutrient substrates that promote intestinal health

It has been proven that probiotics remain the most priority group of microbiological therapy agents. They include pharmaceuticals, special products and biologically active additives based on living cells of healing microflora, which, when administered naturally, cause positive effects on the physiological, biochemical and immune reactions of the human body through optimization and stabilization of the function of its normal microflora. In Ukraine, the first bacterial therapy based on living cells of the intestinal microflora, called eubiotics, became widespread in the mid-1970s. These are single-strain or two-component bacterial preparations based on lyophilized biomass of bifidobacteria, *E. coli*, and lactobacilli (Bifidumbacterin, Bifikol, Colibacterin, and Lactobacterin, etc.), which are still quite often used in patients with dysbiosis. More and more data are emerging that allow us to state that probiotics can be used for various purposes^{10 11}, in particular: restoration of the balance of the colonic microflora after antibacterial therapy^{12 13}; reduction of blood cholesterol levels¹⁴; improvement of microcirculation¹⁵; inactivation of allergy mediators (histamine,

¹⁰ Tijjani, K. I., James, M., & Altin, C. Probiotics and their attributes in human health therapy. *International Journal of ResearchGranthaalayah*. 2020. 8. P. 158-164. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i5.2020.66>

¹¹ Bodke, H., Jogdand, S., & Jogdand, S. D. Role of probiotics in human health. *Cureus*. 2022. 14(11).P. 101-119. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>

¹² Ng, K. M., Aranda-Diaz, A., Tropini, C., Frankel, M. R., Van Treuren, W., O'Loughlin, C. T., ... & Huang, K. C. Recovery of the gut microbiota after antibiotics depends on host diet, community context, and environmental reservoirs. *Cell host & microbe*. 2019. 26(5). P. 650-665. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.10.011>

¹³ Rajyalakshmi, K., Oudah, M. A., Babu, M. K., Priya, A. S., Shabana, S., & Satya, A. K. Benefaction of probiotics in human gastro intestinal tract. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2019. 4(2). P. 459-465.

¹⁴ Momin, E. S., Khan, A. A., Kashyap, T., Pervaiz, M. A., Akram, A., Mannan, V., ... & Pervaiz Sr, M. A. The effects of probiotics on cholesterol levels in patients with metabolic syndrome: a systematic review. *Cureus*. 2023. 15(4). P. 141-151. <https://doi.org/10.7759/cureus.37567>

¹⁵ Aboulgheit, A., Karbasiafshar, C., Zhang, Z., Sabra, M., Shi, G., Tucker, A., ... & Sellke, F. W. *Lactobacillus plantarum* probiotic induces Nrf2-mediated antioxidant signaling and eNOS expression resulting in improvement of myocardial diastolic function. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2021. 321(5). P. H839-H849. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00278.2021>

serotonin)^{16 17}; anticarcinogenic effect^{18 19}; reduction of immunomodulatory effect²⁰; antibacterial effect^{21 22 23}; ammonia levels in the blood^{24 25}; synthesis of enzymes (phosphatase, lysozyme) and proteins²⁶; influence on the genetic apparatus²⁷; – synthesis of vitamins (group B, folic acid)^{28 29}.

It is believed that the prospects of probiotic therapy, provided that this method is used rationally, are very great. The creation of probiotics and their widespread use are today a strategic direction in the fight against many infectious and somatic diseases.

The interest in using microbiological therapy methods with an insufficiently perfect system of their application implies, first of all, that they should be safe

¹⁶ Gao, C., Major, A., Rendon, D., Lugo, M., Jackson, V., Shi, Z., ... & Versalovic, J. Histamine H2 receptor-mediated suppression of intestinal inflammation by probiotic *Lactobacillus reuteri*. *ASM Journals MBio*/ 2015. 6(6). P. 1110-1128. <https://doi.org/10.1128/mBio.01358-15>

¹⁷ Azad, M. A. K., Sarker, M., & Wan, D. Immunomodulatory Effects of Probiotics on Cytokine Profiles. *Biomed Res. Int.* 2018. 1. P. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/8063647>

¹⁸ Commane, D., Hughes, R., Shortt, C., & Rowland, I. The potential mechanisms involved in the anti-carcinogenic action of probiotics. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis.* 2005. 591(1-2). P. 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.02.02>

¹⁹ Słizewska, K., Markowiak-Kopec, P., & Słizewska, W. The role of probiotics in cancer prevention. *Cancers.* 2020. 13(1). 20 p. <https://doi.org/10.3390/cancers13010020>

²⁰ Singh, K., & Rao, A. Probiotics: A potential immunomodulator in COVID-19 infection management. *Nutrition Research.* 2021. 87. P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.12.014>

²¹ Samot, J., & Badet, C. Antibacterial activity of probiotic candidates for oral health. *Anaerobe.* 2013. 19. P. 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.11.007>

²² Chandrasekhar, S. N., Mallikarjun, S. B., & Salim, H. P. Comparative evaluation of antibacterial activity of probiotics SK12 and SM18: An in vitro study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2020. 13(6). P. 611-616. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1838>

²³ Михайлишин Г. І., Волч І. Р., Климяк С. І., Покришко О. В. Аналіз видового складу мікроорганізмів при дисбіозі вагіни та шляхи його корекції. Здобутки клінічної і експериментальної медицини. 2024. 1(3). P. 68-73. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2024.v.i3.14708>

²⁴ Jang, H. D., Kim, H. J., Cho, J. H., Chen, Y. G., Yoo, J. S., & Kim, I. H. Effects of dietary probiotic complex on growth performance, blood immunological parameters and fecal malodor gas emission in growing pigs. *Journal of Animal Science and Technology.* 2007. Vol. 49. No. 4. P. 501-508.

²⁵ Zou, Q., Fan, X., Xu, Y., Wang, T., & Li, D. Effects of dietary supplementation probiotic complex on growth performance, blood parameters, fecal harmful gas, and fecal microbiota in AA+ male broilers. *Frontiers in Microbiology.* 2022. 13. P. 121-142. 1088179. <https://doi.org/10.3389/sf/fmicb.2022.1088179>

²⁶ Salehi, M., Bagheri, D., Sotoudeh, E., Ghasemi, A., & Mozanzadeh, M. T. The combined effects of propionic acid and a mixture of *Bacillus* spp. probiotic in a plant protein-rich diet on growth, digestive enzyme activities, antioxidant capacity, and immune-related genes mRNA Transcript abundance in *Lates calcarifer* Fry. *Probiotics and antimicrobial proteins.* 2023. 15(3). P. 655-667. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09902-4>

²⁷ Wang, J., & Ji, H. Influence of probiotics on dietary protein digestion and utilization in the gastrointestinal tract. *Current Protein and Peptide Science.* 2019. 20(2). P. 125-131. <https://doi.org/10.2174/1389203719666180517100339>

²⁸ LeBlanc, J. G., Levit, R., Savoy de Giori, G., & de Moreno de LeBlanc, A. Application of vitamin-producing lactic acid bacteria to treat intestinal inflammatory diseases. *Applied microbiology and biotechnology.* 2020. 104(8). P. 3331-3337. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10487-1>

²⁹ Megala, G., & Kavitha, M. Folate from probiotic bacteria and its therapeutic applications. *Archives of Microbiology/* 2025. 207(6). P. 124-142. <https://doi.org/10.1007/s00203-025-04327-x>

for the health of all categories of the population, and with prolonged use should not cause side effects, have high colonization activity, proven clinical efficacy, multicomponent composition, corresponding to the "local" geographical physiological microflora. The use of probiotic drugs may pose a certain risk to some individuals, especially immunocompromised ones, since probiotics are living organisms. It is very likely that they can cause infection in the host. Therefore, the safety of probiotics is of particular importance. Their individual strains may demonstrate different safety profiles. Despite the fact that the safety of the use of drugs and products of the probiotic series is considered a proven fact, some complications have been registered in patients who take certain probiotics for a long time. In particular, there are known cases of acidemia in infants, autoimmune diseases, allergic manifestations and other conditions caused by the appointment of large doses of certain probiotics. This indicates the need for a deeper analysis of the safety of the use of drugs. That is why, when selecting probiotic strains, the WHO recommended that they be safe in terms of the following properties ³⁰:

- the presence of hemolytic activity;
- the ability to synthesize toxins;
- their metabolic activity;
- the nature of antibiotic resistance;
- infectivity for animals with weakened immunity;
- consequences for consumers;
- the ability to cause side effects in humans.

Today, the following side effects are distinguished that may be associated with the oral use of probiotics, in particular, the development of infectious processes caused by strains that are part of the probiotic;

- the development of metabolic disorders; excessive immunostimulation of the intestinal lymphatic system; formation of new clones of bacterial strains through the transfer of genes responsible for the expression of pathogenicity factors. All of the above side effects are microbiological and depend on the taxonomic nature and biological properties of the strains of microorganisms used in the preparation. Therefore, the issues of substantiation of the species and strain composition of probiotics are of exceptional importance.

Probiotics are produced in four main forms:

- monocomponent probiotics contain only one type of microorganisms.

For example, "Bifidumbacterin" – bifidobacteria, "Lactobacterin" – lactobacteria, "colibacterina" – colibacteria, etc.

³⁰ LeBlanc, J. G., Laiño, J. E., del Valle, M. J., de Giori, G. S., Sesma, F., & Taranto, M. P. B-group vitamins production by probiotic lactic acid bacteria. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*. 2015. 1. P. 279-296. <https://doi.org/10.1002/9781118868386>

- multicomponent probiotics include several types of microorganisms.

For example, "bifilong", "Bifikol", "Okarin", "Acylakt", "Linex", etc.

- combined probiotics (synbiotics) – "two in one" – contain probiotics and prebiotics.

For example, "Bifidumbacterin forte", "Bifilys", "Biform", "Bactistatin", "Primadofilus", "Polybacterin" and etc.

- recombinant (genetically engineered) probiotics – in the production of such drugs, useful genes are implanted into bacteria that bring new properties to the colony.

For example, the drug "Subalin" contains microbes capable of synthesizing interferon.

Medicinal prebiotics include "Duphalac" ("Lactulose"), "Calcium pantothenate", "Lysozyme", etc.

As manufacturers claim, probiotics have a wide range of applications for improving and treating the body.

1. Single-celled "antibiotics". Bacteria-probiotics, getting into the intestines, immediately start a war with harmful (pathogenic) microbes for free living space. They densely populate the intestinal wall, leaving no free space for pathogenic microorganisms. Having settled in the intestines, beneficial bacteria change the pH of the environment to the acidic side. And the pathogens of intestinal infections cannot stand the "acidic life" and die in such conditions. Finally, some bacteria have learned to synthesize real antibiotics. However, these antibiotics act "according to reason": only on harmful microorganisms. Due to these properties, pre- and probiotics are used during intestinal infections, including viral ones.

2. Solve problems with digestion. Pre- and probiotics stop the processes of fermentation and putrefaction in the intestines, participate in the digestion of food, absorb gases with their surface, thereby reducing bloating and improving digestion. Probiotic bacteria secrete a number of substances that strengthen and heal the intestinal wall during various inflammatory processes. Therefore, they are used for stool disorders (diarrhea and constipation), bloating, rumbling and abdominal pain.

3. The second liver. Beneficial probiotic bacteria are able to neutralize many substances, starting from toxic metabolic products and ending with antibiotics, heavy metals and carcinogens (substances that provoke the development of cancer). Pre- and probiotics are able to absorb toxins, "slags" and even viruses with their surface. Being excreted with intestinal contents, they cleanse the body of "garbage", showing the properties of sorbents and detoxifiers.

4. Strengthen immunity. Probiotics in the composition of the intestinal microflora have a powerful immunomodulatory effect. They strengthen our

defense against a variety of diseases: colds, herpes and even cancer! Probiotics can neutralize the manifestations of allergies and autoimmune diseases (when allergies develop to one's own cells and organs). It has been established that in Caucasian centenarians over 95 years of age, the composition of the intestinal microflora is very similar to that of children: the main link is lacto- and bifidobacteria. In them, the number of these bacteria does not decrease with age and has a clear connection with life expectancy. Perhaps deciphering the nature of this pattern will help humanity find the secret of eternal youth^{31 32}.

2. Antagonistic properties of probiotics

Probiotic bacteria are found throughout the human gastrointestinal tract. Their physiological significance is multifaceted, but first of all they take an active part in ensuring the protective function of the intestinal microflora. Among the lactic acid bacteria most often used in probiotics for human consumption, G.W.Tannock lists such species as: *L.acidophilus*, *L.delbrueckii* ss. *bulgaricus*, *S.salivarius* ss. *thermophilus*, *B. adolescentis*, *B.bifidum*, *B.breve*, *B.longum*, *B.infantis*. Bacilli and fungi are also used for probiotics, most of which are traditionally associated with the digestive tract. Lactic acid bacteria, by their presence, create an antagonistic environment directed against pathogenic microbes – gram-negative and gas-forming anaerobes. In the intestinal tract, they block the receptors for the inoculation of pathogenic microorganisms and create conditions for the development and growth of beneficial bacteria such as *E. coli*.

Lactic acid bacteria are immobile microorganisms that do not form spores, are catalase-negative, gram-positive, do not form pigment, do not reduce nitrates to nitrites, and are one of the most widespread groups of microorganisms in the biosphere. It has been established that the natural habitat of lactic acid bacteria is the soil and the rhizosphere of plants. Studies have shown that the digestive tract of the studied animals contains quantitatively and qualitatively different types of lactic acid bacteria, which vary depending on age, nutrition and the habitat of animals and humans.

Bifidobacteria are strict anaerobes. Being part of the human intestinal microflora, they play an important role in the vital activity of the macroorganism by maintaining a certain pH (3.8 – 4.0) in the large intestine, secreting lactic, acetic and butyric acids, which prevent the growth of many pathogenic and conditionally pathogenic bacteria. These bacteria ferment glucose to acetic

³¹ Lau C.S., Chamberlain R.S. Probiotics are effective at preventing *Clostridium difficile*-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *Int J Gen Med*. 2016. Feb 22. 9. P. 27-37.

³² Sanders M.E., Merenstein D.J., Ouwehand A.C., Reid G., Salminen S., Cabana M.D., et al. Probiotic use in at-risk populations. *J Am Pharm Assoc JAPhA*. 2016. Dec. 56(6). P. 680-686.

and L(+)-lactic acids in a molar ratio of 3:2, with a small amount of formic and succinic acids. Bifidobacteria and lactobacteria participate in the synthesis and absorption of vitamins B, K, folic and nicotinic acids, contribute to the synthesis of essential amino acids, better absorption of vitamin D and Ca salts. Metabolites of bifidobacteria and lactobacteria also have antiallergic effects. In addition to the set of acids, these bacteria also produce vitamins, and vitamins of group B (B₁, B₂) are produced in larger quantities than in the process of life of *Escherichia coli*. Bifidobacteria are included in the composition of more than 70 different food products and a number of therapeutic drugs that are used for intestinal digestion disorders in children, for enterocolitis, cirrhosis of the liver, after the use of antibiotics and to improve intestinal peristalsis.

The products of the vital activity of lactic acid bacteria were probably one of the first antiseptics of microbial origin. In folk medicine, fermented milk compounds have long been used to treat burns and wounds, and for impaired gastrointestinal function. Initially, the antagonistic effect of lactic acid bacteria in relation to other microorganisms was explained by the inhibitory effect of organic acids (primarily lactic acid) that they produced. Later it was discovered that the antagonistic properties of bacteria are based not only on the formation of organic acids, but also on the formation of specific antibiotic substances (they are called bacteriocins or microcins, colicins). For example, *S.lactis* secretes nisin, *Str.cremoris* – diplococcin, *L.acidophilus* – acidophilin and lactocidin, *L.brevis* – brevin, *L.plantanum* – lactolin. All these biologically active substances are unstable and do not have high antibiotic activity. In the study of the antibiotic properties of lactic acid rod-shaped bacteria, special attention was paid to the acidophilic bacillus, which is able to take root in the intestinal tract, has a beneficial effect on the body, suppresses pathogenic intestinal microflora, and promotes recovery from gastrointestinal diseases. Acidophilic paste is used in obstetric practice, dermatology, and surgery (treatment of burns, ulcers). It is believed that the antagonistic properties of *acidophilus* are due to both the lactic acid it produces and the antibiotic substances^{33 34 35}.

After it was established that lactic acid bacteria are a necessary component of the protective intestinal microflora, they became the most widely used microorganisms for the creation of probiotic preparations. R. Fuller believes

³³ Grossi E., Buresta R., Abbiati R., Cerutti R., Pro-DIA study group. Clinical trial on the efficacy of a new symbiotic formulation, Flortec, in patients with acute diarrhea: a multicenter, randomized study in primary care. *J Clin Gastroenterol.* 2010. Sep 44. Suppl 1. P. 35-41.

³⁴ Allen S.J., Martinez E.G., Gregorio G.V., Dans L.F. Probiotics for treating acute infectious diarrhoea. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010. 11. CD003048. P. 71-77.

³⁵ Hempel S., Newberry S.J., Maher A.R., Wang Z., Miles J.N.-V., Shanman R., et al. Probiotics for the prevention and treatment of antibiotic-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 2012. May 9. 307(18). P. 1959-1969.

that the probiotic effect of the introduction of lactobacilli is achieved only under the condition of preserving other components of the protective flora and a deficiency of lactobacilli. In the absence of these conditions, the effectiveness of lactobacilli as probiotics is questionable. Also, not all strains of a given genus or species are equivalent as probiotics, as well as their different effects on the organoleptic properties of the fermented product.

To date, the way in which probiotics exert their biological effect is not known for certain, however, certain factors of influence on the intestinal microbial ecosystem are known. One of the mechanisms of action of probiotics is direct antagonism through the production of certain chemical components of different molecular weights. Those that are protein in nature and encoded by plasmids belong to bacteriocins. A number of bacteriocins produced by lactic acid bacteria have been described. In addition, the antagonistic effect of these bacteria is also determined by their secretion of organic acids and low-molecular metabolites such as peptides. Similarly, fatty acids produced by anaerobes such as *Bacteroides* can inhibit enterotoxigenic *E. coli* and shigella. The spectrum of their antagonistic action is very wide. From the low-molecular metabolite *L.reuteri*, which in purified form is reuterin, inhibits the growth of all test microorganisms. To the very specific antagonistic activity of certain strains of lactobacilli against *Clostridium ramosus*.

To increase the antagonistic activity of lactic acid bacteria, various mutagenic factors are used – ultraviolet radiation, chemical agents: ethyl ether, urethane, ethyleneimines. Studies have shown that under the influence of these factors, the antibiotic properties of lactic acid bacteria are significantly enhanced. Various types of lactic acid bacteria are able to enter into not only antagonistic, but also symbiotic relationships with each other ³⁶.

For example, when excluding some growth factors (vitamins of group B and amino acids), necessary for two strains, both organisms could grow in symbiosis, since each of them produced biologically active substances that each other needed. Thus, *L.arabinosus* 17-5 (requires phenylalanine) and *Str. faecalis* R (requires folic acid, threonine, serine, histidine or glycine) grow in symbiosis when phenylalanine, threonine and folic acid are not introduced into the environment.

According to modern ideas, the positive effect is multicomponent and includes: suppression of potential pathogenic microorganisms due to the production of antibacterial substances, competition for limiting food compounds; the effect of probiotics on the enzymatic activity of harmful intestinal

³⁶ Szajewska H., Kołodziej M. Systematic review with meta-analysis: *Saccharomyces boulardii* in the prevention of antibiotic-associated diarrhoea. *Aliment Pharmacol Ther.* 2015. Oct 42 (7). P. 793–801.

microorganisms; stimulation of the immune system of the macroorganism; the ability of lactobacteria to assimilate cholesterol and thus reduce the content of this lipid in the peripheral blood serum.

In addition to the significant antagonistic activity of lactobacilli, their high adhesiveness plays an important role, which is associated with the ability of lactic acid bacteria to settle on the mucous membranes of various cavities of the macroorganism. Such properties are present in both normal and pathogenic microflora of the gastrointestinal tract. Microorganisms with high adhesive properties gain a selective advantage in competition with less adapted bacteria. Intestinal lactic acid bacteria are mucosa-associated microorganisms and this is what largely contributes to the phenomenon of intestinal colonization resistance. It follows that one of the main criteria for searching for promising strains of lacto- and bifidobacteria is their high adhesive properties. It should be noted that most bacteria cannot settle in the patient's intestines for a long time, so the therapeutic effect of these probiotics will be transient. The interaction of pathogenic microorganisms with the epithelium of the mucous membrane of the digestive tract can be limited due to the presence of populations of saprophytic or lactic acid bacteria on it, the destruction of which may lead to the development of pathological changes in the body. In most species of lactobacilli, adhesive properties correlate with high antimicrobial activity and lysozyme activity. It should be noted that it has not been possible to obtain antibiotics from lactic acid bacteria in pure form so far, since they lose their activity during secretion.

The intestinal microflora (mainly anaerobic bacteria) is attached to the epithelium of the mucous membrane with the help of adhesins. Adhesins (ligands) of bacteria are biopolymers that consist of subunits of protein, glycolipid or glycoprotein nature unique to each species. They can be lectins, and in this case they selectively bind to carbohydrate determinants of glycoproteins and glycolipids, with each lectin corresponding to a certain carbohydrate residue. This can be roughly compared to the interaction of antigen and antibody.

The biological film that is formed performs a barrier role, it covers the receptors of the mucous and submucosal membranes from pathogenic microorganisms. It has a negative charge and serves as a barrier to the penetration of cations of some antibiotics, pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms. It protects not only the mucous membrane, but also the autochthonous bacteria themselves from the action of antibiotics and antibodies. Lactobacteria have greater adhesiveness, due to the presence of a relatively large number of monosaccharides in the glycocalyx, unlike bacilli.

Thus, the antagonistic properties of lactobacilli and their ability to colonize the epithelium of the gastrointestinal tract, fixing on its villi, are the basis for the use of these microorganisms in the treatment of dysbacteriosis, gastritis,

ulcers of the gastrointestinal tract. This condition can be achieved by artificial colonization of the intestine with bacteria that can affect the microecological system of the intestine and the host organism as a whole.

Another of the most important functions of lactic acid bacteria is their participation in the formation of the immunological status and the functioning of the body's immune system. Data on the versatile effect of lactic acid bacteria on the body's immune system are the most recent. It has been established that lactobacilli can act as adjuvants of the humoral immune response in humans and experimental animals. Direct activating effect of probiotics on T-killers and B-lymphocytes. Live, heat-killed and components of the cell walls of lactobacilli, as well as preparations from bacilli, turned out to be good activators of hepatic and peritoneal macrophages and mononuclear phagocytes. Probiotics have the function of inducers of α - and β -interferon, which has been established in in vitro experiments and in animal experiments.

One of the mechanisms of action of probiotic drugs, which is closely related to their immunomodulatory effect on the macroorganism, is the phenomenon of translocation of bacteria from orally administered drugs into the bloodstream. This phenomenon was established and comprehensively studied by domestic researchers under the leadership of academician V.V. Smirnov. The authors found that within two minutes after the administration of probiotic preparations or cultures of microorganisms from their composition to mice, some of the bacteria were detected in the blood, lungs and liver, and a little later in other parenchymal organs with a subsequent gradual decrease in the number of viable cells. The phenomenon of translocation was observed constantly when the dose exceeded $1 \cdot 10^5$ live MC, while only a small amount of chitin entered the blood – about 0.01% of the administered bacteria^{37 38 39}.

It is known that the chemical composition of the cell wall of many lactic acid bacteria is quite constant, it is not affected by changes in the composition of the medium or the conditions in which microorganisms are grown. The most important cellular agents of bacteria are concentrated in their walls. By the method of chromatography of hydrolysates of the cell walls of a number of lactic acid bacteria, it was shown that their amino acid composition is most characteristic of the genus, and the qualitative composition and quantity of hexosamine sugars reflect the difference between species within the genus itself. For example, it was found that the walls of *L. plantarum* contain aspartic acid,

³⁷ Іванов С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Технологія оздоровчих харчових продуктів: підруч. Київ: НУХТ, 2015. 402 с.

³⁸ Фізіологія харчування: підручник / Павлоцька Л.Ф., Дуденко Л.В., Левітін Є.Я. та ін. Суми: Університетська книга, 2011. 473 с.

³⁹ Нутриціологія: навч. посіб. / під ред. Н.В.Дуденко. Харків: Світ книг, 2013. 560с.

alanine, glutamic acid, lysine, glucosamines and hexosamines. *L. delbrueckii*, *L. casei* have a more complex than other species of the genus chemical composition of the cell walls. In an experiment on laboratory animals, it was found that lactic acid bacteria such as *L. delbrueckii*, *L. casei*, *L. acidophilus* and *Str. thermophilus* stimulate the lymphoid apparatus, the synthesis of immunoglobulins and the activity of interferon, enhance mononuclear and phagocytic activity, the activity of natural killers, increase lysozyme and antimicrobial action, stimulate T-cell immunity reactions. Intraperitoneal injections of live bacteria *L. delbrueckii*, subsp. *bulgaricus* into mice stimulated the formation of interferon already 6 hours after their administration. Along with enhancing anti-infective immunity, lactic acid bacteria also have antitumor activity. The antitumor activity of probiotics and their effect on intestinal motility is the result of an indirect action. One of the directions is the destruction of enzymes, such as nitrogen reductase, nitroreductase, which convert procarcinogens into carcinogens. Another point of view is that live or killed by heating lactobacilli induce in the body an increase in the activity of macrophages, lymphocytes, excluding the synthesis of endogenous cytotoxins and tumor necrosis factor (TNF). Thus, the effect on the tumor can be carried out both through direct cytotoxic action and through stimulation of immune mechanisms. Finally, probiotic strains reduce the level of mutagens in feces, possibly by binding or sorption of mutagens on bacterial cells. I.G. Bogdanov was one of the first in vivo mice with sarcoma 180, Ehrlich carcinoma, melanoma B-16 and adenocarcinoma ASOTOL to establish the antitumor properties of *L. delbrueckii*, when the introduction of the culture filtrate led to the complete disappearance of tumors in almost 50% of laboratory animals. He proposed several drugs from *L. bulgaricus*. Three glycopeptides were isolated from the cellular fraction of lactobacilli: 1,2 and 10kD. One of the most active drugs was called blastolysin. Antitumor activity was also established when using other types of lactobacilli, for example, *L. casei*. The substance of these bacteria was especially successfully treated in mice after its subcutaneous injection into the area of the lymph nodes that drained the tumor. In the treatment of patients with various localizations of malignant tumors with chemo- or radiation therapy, it is recommended to use lactic acid bacteria, which significantly improve the general condition of patients and reduce the side effects of drugs.

Epidemiological studies in many countries of the world have shown that the occurrence of colon cancer is observed more in the population of people who consume Western refined diets, compared to those who consume vegetarian and lactic acid products. It was noted that in patients with colon cancer, on average, there are an order of magnitude fewer lactic acid bacteria in the feces. In people with a high risk of colon cancer, *Bifidumbacterium*, *Peptococcus*, *Clostridium*

prevailed, and in people with a low risk of colon cancer, *Bac.pneumoniae*, *Lactobacilus* dominated.

In most patients, it was found that the risk of breast cancer was positively correlated with the frequency of consumption of fatty cheeses and cow's milk and negatively – with the frequency of consumption of yogurts with live lactobacilli. In recent years, spore-forming bacteria of the genus *Bacillus* as the most famous representatives of exogenous microflora have attracted the attention of researchers. A fairly large arsenal of species of this genus has been used as therapeutic agents in the treatment of acute and chronic infections: *B.cereus*, *B.polymyxa*, *B.brevis*, *B.megaterium*, *B.pumilus*, *B.coagulans*, etc. However, the most widespread and studied species are *B.subtilis* and *B.licheniformis*. These microorganisms, due to their high adaptive properties, are widely distributed in nature and in particular in those objects with which a person is in closest contact. Due to this, bacilli constantly and in significant quantities enter the human body and, since they are resistant to lytic and digestive enzymes, they maintain their vital activity throughout the entire gastrointestinal tract. Among various representatives of exogenous microflora, bacilli are characterized by a number of advantages that allow us to consider them the most effective as new biological preparations: these bacteria (except *B.anthraxis* and *B.cereus*) are usually harmless to the macroorganism even in concentrations that significantly exceed those recommended for use; when used oral administration, these microorganisms significantly increase the nonspecific resistance of macroorganisms; their antagonistic activity is more pronounced and manifests itself against a wider range of pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms than in other representatives of exogenous and endogenous microflora.

Bacilli are characterized by high enzymatic activity, which allows them to regulate and stimulate digestion, exhibit antiallergic and antitoxic effects; these microorganisms are stable during storage; they are environmentally safe. The bacilli do not form biofilms, since their adhesive properties are weakly expressed. Their activity manifests itself in the intestine and is associated primarily not with competitive relationships for attachment sites to the mucosa, but with high antagonistic activity against many pathogenic bacteria. At the same time, bacteria of the genus *Bacillus* do not exhibit antagonistic action on representatives of normal microflora, which creates conditions for non-competitive restoration of microflora.

The antimicrobial activity of aerobic spore-forming bacteria of the genus *Bacillus* may be due to the lytic enzymes they synthesize. For example, some scientists have isolated elastase from *B. subtilis*, which has a lytic effect on gram-negative and gram-positive microorganisms. Due to the high and diverse

enzymatic activity of bacteria of the genus *Bacillus*, which are part of probiotic biological preparations, they can play a significant role in stimulating and enriching the host's digestive system with the necessary enzymes. For example, bacilli are characterized by pronounced amylolytic activity, and some amylases are distinguished by the fact that during the hydrolysis of starch, which is catalyzed by these enzymes, sugars of the α -configuration and oligosaccharides no larger than maltotetrose are formed. Bacilli are characterized by high proteolytic activity. A proteolytic enzyme was isolated from the culture fluid of *B. subtilis*, which has the property of stimulating regenerative processes. Another proteolytic enzyme from the bacilli is a thrombolytic drug that shows its activity even when taken orally. Interestingly, some bacilli enzymes retain activity even in non-living cells.

A positive role is played by the ability of bacilli to produce significant amounts of extracellular amino acids, including essential ones (threonine, alanine, tyrosine, histidine, valine, etc.). The vitamin-synthesizing activity of bacteria of the genus *Bacillus* is also important. The presence of bacilli in a probiotic mixture of microorganisms contributed to a much more effective reduction in cholesterol in the blood of animals than in their absence. The experiments also observed a more pronounced ability to bind fatty acids and reduce the formation of cholesterol micelles in the presence of bacteria of the genus *Bacillus*. Thus, aerobic spore-forming bacteria of the genus *Bacillus* are a promising group of microorganisms for the creation of new highly effective biological products. First, they are characterized by the most pronounced antagonistic activity against pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms. Second, it is known that on the basis of aerobic spore-forming bacteria it is possible to obtain strains with specified properties, since these bacteria are a fairly well-studied system for cloning^{40 41}.

A number of works are devoted to probiotics based on representatives of the genus *Aerococcus*, as well as the use of yeast for the production of probiotics. Thus, treatment with a drug containing *Saccharomyces boulardii* was found to be effective in intestinal infections caused by *Clostridium difficile*. A pronounced clinical effect was also obtained when using *Saccharomyces cerevisiae*.

The above indicates that the spectrum of microorganisms that make up probiotic drugs is quite wide. Of course, the most common among them are lactic acid bacteria, as one of the groups of microorganisms widely distributed in

⁴⁰ Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaulah, M., Babalghith, A. O., Faidah, H., ... & Bantun, F. Probiotics and Cancer: Mechanistic Insights and Organ-Specific Impact. *Biomolecules*. 2025. 15(6). P. 879-897. doi.org/10.3390/biom15060879.

⁴¹ Thu, M. S., Ondee, T., Nopsopon, T., Farzana, I. A., Fothergill, J. L., Hirankarn, N., ... & Pongpirul, K. Effect of probiotics in breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Biology*. 2023. (Basel)12(2). 280 p. https://doi.org/10.3390/biology12020280.

the biosphere. The study of lactic acid bacteria as antagonists of pathogenic and conditionally pathogenic microflora, fungi and viruses is of great importance for maintaining homeostasis of the human body, which is largely determined by the state of the microflora created during the evolutionary process of symbiotic and natural selection. Studies on the determination of the antimicrobial activity of lactic acid bacteria allow us to identify the individual characteristics of each culture, which is crucial for further study of the nature and mechanism of action of bacteriocins. The knowledge of the antagonistic properties of each culture, the optimal conditions for their maximum manifestation is necessary when formulating therapeutic and dietary products with given properties. The participation of symbionts of biological products in the formation of the immunological status opens up prospects for their use in diseases of other body systems, except for the intestinal tract^{42 43}.

Probiotic therapy and prevention are of great importance in gerontology. In elderly patients, dysbiosis is registered more often than in young people, severe violations of the microbiocenosis are often detected, in various biotopes, but especially in the biotopes of the digestive canal. The development of dysbiosis can be facilitated by anatomical and physiological features of the digestive canal in old age, because in the aging process, morphological and functional changes develop: atrophic islands of the epithelium appear, the amount of saliva, secretion of the esophageal mucosa, acidity of gastric juice decreases, gastric and intestinal secretion and motor function of these organs are disturbed. In addition, long-term medication (antibiotics, cholinolytics, tranquilizers, etc.), impaired immune status, nutritional disorders (monotonous nutrition, exclusion of juice-forming foods, consumption of mainly carbohydrates or proteins), chronic illnesses, mental and physical stress, physical inactivity, radiation therapy and other adverse environmental factors can undoubtedly also cause the development and worsening of microecological disorders in the elderly. With aging, the composition of the indigenous microbiota changes: the number of opportunistic bacteria, in particular putrefactive bacteria, increases, and the colonization level of physiological saccharolytic anaerobic bacteria decreases. The result is profound changes in the functional properties of microbiocenoses. Therefore, the correction of the intestinal microbiocenosis in elderly patients is a difficult task and the search for new methods of restoring

⁴² Kleniewska, P., & Pawliczak, R. Can probiotics be used in the prevention and treatment of bronchial asthma? *Pharmacological Reports*. 2024. 76(4)/ P. 740-753. <https://doi.org/10.1007/s43440-024-00618-0>.

⁴³ Sanchez, P., Letarouilly, J. G., Nguyen, Y., Sigaux, J., Barnette, T., Czernichow, S., ... & Daïen, C. Efficacy of probiotics in rheumatoid arthritis and spondyloarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. 2022. 14(2). 354 p. <https://doi.org/10.3390/nu14020354>

microflora does not stop. At the beginning of the last century, I. I. Mechnikov proposed to consider the fight against premature aging as the most important task of medicine. He considered old age as a pathological phenomenon, which should be fought as a disease. I. I. Mechnikov considered the main cause of premature aging to be chronic poisoning of the body with putrefactive decay products, which accumulate in the intestines due to the excessive development of proteolytic microorganisms. To neutralize the body from toxic protein decay products, the scientist recommended using fermented milk products with a high concentration of live antagonistically active lactic acid bacteria in food, capable of suppressing putrefactive processes in the intestines^{44 45}. The microecological aspect of gerontology, the initial impetus for which was given by I. Mechnikov, is continued by modern researchers. Despite the fact that this concept, which considers the activation of putrefactive processes in the intestine as the main factor of premature aging, has not been fully confirmed, increasing attention is being paid to age-related changes in microbial ecology. Analysis of research results in the field of probiotic therapy allows us to predict a further expansion of the scope of probiotics in the following areas: – biotherapy using antibiotic-sensitive bacteria to replace resistant ones; – prevention of translocation of pathogenic bacteria from the skin and mucous membranes into the internal environment of the body; – promotion of faster body weight gain; – eradication of certain types of bacteria from the body, for example, *Helicobacter pylori* in patients with gastric ulcers; – restoration of the composition of the microflora after treatment with antibiotics; – change in the composition of the intestinal microflora according to the characteristics of the diet; – improving oxalate metabolism to reduce the incidence of kidney and bladder stone formation; – destroying potentially dangerous chemicals, especially in cases of constant exposure to the body; – suppressing pathogenic strains of *Staphylococcus aureus* and *Clostridium difficile* in hospital patients; – preventing bladder infections^{46 47}. It is difficult to overestimate the importance of the prophylactic use of probiotics for human health. Every year, new and new data are accumulating on the effectiveness of the prophylactic use of probiotics, based on the principles of evidence-based medicine.

⁴⁴ Tsai, Y. C., Cheng, L. H., Liu, Y. W., Jeng, O. J., & Lee, Y. K. Gerobiotics: probiotics targeting fundamental aging processes. *Bioscience of microbiota, food and health*. 2021. 40(1). P. 1-11. <https://doi.org/10.12938/bmfh.2020-026>

⁴⁵ Pandey K.R., Naik S.R., Vakill B.V. Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *J Food Sci Technol*. 2015. 52(12). P. 577–7587.

⁴⁶ Lee J., Seto D., Bielory L. Meta-analysis of clinical trials of probiotics for prevention and treatment of pediatric atopic dermatitis. *J Allergy Clin Immunol*. 2008. 121(1). P. 116-121.

⁴⁷ Rousseaux C., Thuru X., Gelot A. et al. *Lactobacillus aci-dophilus* modulates intestinal pain and induces opioid and cannabinoid receptors. *Nat Med*. 2007. 13. P. 35-37.

CONCLUSIONS

Recommendations for the use of probiotics, especially in clinical settings, should link specific strains to claimed effects based on human studies. Some strains have unique properties that may be responsible for certain neurological, immunological, and antimicrobial effects. However, the new concept of probiotics suggests that some mechanisms of probiotic activity are likely to be common across strains, species, and even types. Many probiotics may act in similar ways, such as by stimulating resistance to colonization, regulating gastrointestinal transit, or normalizing microbiota abnormalities. In particular, the ability to increase short-chain fatty acid production or to lower colonic luminal pH may be major effects produced by many different strains of certain well-studied *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* species. If probiotics are used to support healthy digestion, it may be sufficient to use a variety of probiotic mixtures that contain an adequate number of well-studied species. It is now common practice in the field of probiotics to include multiple strains in systematic reviews and meta-analyses. This approach is possible if the common mechanisms of action of the different strains included allow them to be attributed to the effect obtained.

Probiotics are important biotherapeutic drugs that are advisable to use in many infectious and somatic pathologies. Today, various microorganisms are considered as probiotics: bacteria, fungi and even yeast. *Lactobacilli* and *bifidobacteria* occupy the dominant place. It is imperative to pay attention to the requirements that are put forward to candidates for probiotics, noting the diversity of their action. As biocorrection drugs, drugs based on inactivated microorganisms, prebiotics, synbiotics, metabiotics, metabolite-type drugs, nutraceuticals, etc. also deserve careful study and proof of clinical effectiveness. Further studies are needed on the immunomodulatory activity of probiotics and the correlation of their action with various drugs used to treat major diseases. Considering the medical feasibility of new highly effective probiotics, attention has been drawn to the need to create multiprobiotics.

Probiotics are increasingly being introduced into gastroenterological practice, as the development of some diseases of the digestive system is associated with the activation of opportunistic representatives of the intestinal microflora. The etiological factor of this group of diseases is the autochthonous, weakly virulent and low-contagious microflora, the proliferation of which, in case of eubiosis disorders, in some cases leads to inflammation, changes in the morphofunctional state of organs and other consequences.

SUMMARY

The proven beneficial effects caused by probiotic strains were analyzed, namely: lowering blood cholesterol levels, improving microcirculation,

inactivation of inflammatory mediators, anticarcinogenic and immunomodulatory effects, antibacterial effects, synthesis of enzymes and vitamins, etc. The requirements for strains that can be used for the manufacture of probiotic preparations were systematized. The use of probiotics was justified not only for the correction of digestive disorders and intestinal diseases, but also for a number of somatic diseases, such as allergic dermatoses, diabetes mellitus, obesity, oncological diseases, for the prevention of atherosclerosis, liver diseases. Special attention was paid to the immunomodulatory properties of microorganisms used as the basis of probiotic preparations, their effect on local and general immunity, in particular the effect on mucous membranes and the possibility of using such agents for the prevention of infectious pathologies of the respiratory and intestinal organs. The use of probiotics in pediatrics, gynecology, and gerontology has been announced. Data on the positive effect of these drugs for the prevention of complications during surgical interventions are presented. The creation of stable multiprobiotic communities should be preceded by a detailed study of the biological properties of each strain and the selection of bacterial components that mutually stimulate each other through the synthesis of certain structural and/or energy metabolites-stimulators. In conclusion, it should be recalled that probiotic therapy has shown quite encouraging results in many clinical studies in diarrhea of various etiologies, irritable bowel syndrome, urogenital infections, allergic diseases, surgical infections, oral candidiasis, neoplasms, gingivitis, bleeding gums, high blood pressure, etc. It helps to alleviate anxiety symptoms. However, since probiotics are living microorganisms, it is possible that they may cause infection in the host. Therefore, comprehensive and systematic studies should be conducted to obtain a proper evaluation with confirmed results of the action of these drugs before introducing them into routine use.

Bibliography

1. Lilly, D. M., & Stillwell, R. H. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science*. 1965. 147(3659). P. 747-748. <https://doi.org/10.1126/science.147.3659.747>
2. Співак, М. Я., Сафронова, Л. А. Пробиотики як альтернативні аптимікробні засоби. *Інфекційні хвороби*. 2025. 1. P. 4-8.
3. Fuller, R. Probiotics in man and animals. *The Journal of applied bacteriology*/1989. 66(5). C. 365-378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>
4. Probiotics: official definition, scientific requirements and vigilance points during product development. <https://www.rni-consulting.com/en/probiotics-official-definition/>

5. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. https://uk.wikipedia.org/wiki/Lactobacillus_delbrueckii_subsp_bulgaricus
6. Філімонова, Н. І., Сілаєва, Л. Ф., Дика, О. М., та ін. Мікробіологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів (2-ге вид.; за заг. ред. Н. І. Філімонової). 2019. Харків: НФаУ, Золоті сторінки. 246с.
7. Климнюк, С. І., Волч, І. Р., Загричук, О. М., Кравець, Н. Я., Медвідь, І. І., & Михайлишин, Г. М. Мікробіом організму людини: навчальний посібник. Тернопіль: Осадна Ю. В. 2023. 263 с.
8. Pal, M., & Jadhav, V. J. Significance of probiotics in human health. *Beverage and food world*. 2013. P. 65-67.
9. Amiri, A., Firoozeh, F., Zibaei, M., & Khaledi, A. Effects of probiotics on human health and disease: A review. *Acta Medica Bulgarica*. 2021. 48(1). P. 95-100. doi:10.2478/amb-2021-0015.
10. Tijjani, K. I., James, M., & Altin, C. Probiotics and their attributes in human health therapy. *International Journal of Research Granthaalayah*. 2020. 8. P. 158-164. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i5.2020.66>
11. Bodke, H., Jogdand, S., & Jogdand, S. D. Role of probiotics in human health. *Cureus*. 2022. 14(11).P. 101-119. <https://doi.org/10.7759/cureus.31313>
12. Ng, K. M., Aranda-Díaz, A., Tropini, C., Frankel, M. R., Van Treuren, W., O'Loughlin, C. T., ... & Huang, K. C. Recovery of the gut microbiota after antibiotics depends on host diet, community context, and environmental reservoirs. *Cell host & microbe*. 2019. 26(5). P. 650-665. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.10.011>.
13. Rajyalakshmi, K., Oudah, M. A., Babu, M. K., Priya, A. S., Shabana, S., & Satya, A. K. Benefaction of probiotics in human gastro intestinal tract. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*. 2019. 4(2). P. 459-465.
14. Momin, E. S., Khan, A. A., Kashyap, T., Pervaiz, M. A., Akram, A., Mannan, V., ... & Pervaiz Sr, M. A. The effects of probiotics on cholesterol levels in patients with metabolic syndrome: a systematic review. *Cureus*. 2023. 15(4). P. 141-151. <https://doi.org/10.7759/cureus.37567>.
15. Aboulghheit, A., Karbasiafshar, C., Zhang, Z., Sabra, M., Shi, G., Tucker, A., ... & Sellke, F. W. *Lactobacillus plantarum* probiotic induces Nrf2-mediated antioxidant signaling and eNOS expression resulting in improvement of myocardial diastolic function. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2021. 321(5). P. H839-H849. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00278.2021>.
16. Gao, C., Major, A., Rendon, D., Lugo, M., Jackson, V., Shi, Z., ... & Versalovic, J. Histamine H2 receptor-mediated suppression of intestinal

inflammation by probiotic *Lactobacillus reuteri*. *ASM Journals MBio*/ 2015. 6(6). P. 1110-1128. <https://doi.org/10.1128/mBio.01358-15>

17. Azad, M. A. K., Sarker, M., & Wan, D. Immunomodulatory Effects of Probiotics on Cytokine Profiles. *Biomed Res. Int.* 2018. 1. P. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/8063647>

18. Commane, D., Hughes, R., Shortt, C., & Rowland, I. The potential mechanisms involved in the anti-carcinogenic action of probiotics. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis.* 2005. 591(1-2). P. 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.02.02>.

19. Śliżewska, K., Markowiak-Kopeć, P., & Śliżewska, W. The role of probiotics in cancer prevention. *Cancers.* 2020. 13(1). 20 p. <https://doi.org/10.3390/cancers13010020>.

20. Singh, K., & Rao, A. Probiotics: A potential immunomodulator in COVID-19 infection management. *Nutrition Research.* 2021. 87. P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.12.014>.

21. Samot, J., & Badet, C. Antibacterial activity of probiotic candidates for oral health. *Anaerobe.* 2013. 19. P. 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.11.007>.

22. Chandrasekhar, S. N., Mallikarjun, S. B., & Salim, H. P. Comparative evaluation of antibacterial activity of probiotics SK12 and SM18: An in vitro study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2020. 13(6). P. 611-616. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1838>

23. Михайлишин Г. І., Волч І. Р., Климнюк С. І., Покришко О. В. Аналіз видового складу мікроорганізмів при дисбіозі вагіни та шляхи його корекції. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини.* 2024. 1(3). P. 68-73. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2024.v.i3.14708>

24. Jang, H. D., Kim, H. J., Cho, J. H., Chen, Y. G., Yoo, J. S., & Kim, I. H. Effects of dietary probiotic complex on growth performance, blood immunological parameters and fecal malodor gas emission in growing pigs. *Journal of Animal Science and Technology.* 2007. Vol. 49. No. 4. P. 501-508.

25. Zou, Q., Fan, X., Xu, Y., Wang, T., & Li, D. Effects of dietary supplementation probiotic complex on growth performance, blood parameters, fecal harmful gas, and fecal microbiota in AA+ male broilers. *Frontiers in Microbiology.* 2022. 13. P. 121-142. 1088179. <https://doi.org/10.3389/sa/fmicb.2022.1088179>.

26. Salehi, M., Bagheri, D., Sotoudeh, E., Ghasemi, A., & Mozanzadeh, M. T. The combined effects of propionic acid and a mixture of *Bacillus* spp. probiotic in a plant protein-rich diet on growth, digestive enzyme activities, antioxidant capacity, and immune-related genes mRNA Transcript abundance

in *Lates calcarifer* Fry. Probiotics and antimicrobial proteins. 2023. 15(3). P. 655-667. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09902-4>

27. Wang, J., & Ji, H. Influence of probiotics on dietary protein digestion and utilization in the gastrointestinal tract. *Current Protein and Peptide Science*. 2019. 20(2). P. 125-131. <https://doi.org/10.2174/1389203719666180517100339>

28. LeBlanc, J. G., Levit, R., Savoy de Giori, G., & de Moreno de LeBlanc, A. Application of vitamin-producing lactic acid bacteria to treat intestinal inflammatory diseases. *Applied microbiology and biotechnology*. 2020. 104(8). P. 3331-3337. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10487-1>

29. Megala, G., & Kavitha, M. Folate from probiotic bacteria and its therapeutic applications. *Archives of Microbiology/ 2025*. 207(6). P. 124-142. <https://doi.org/10.1007/s00203-025-04327-x>.

30. LeBlanc, J. G., Laiño, J. E., del Valle, M. J., de Giori, G. S., Sesma, F., & Taranto, M. P. B-group vitamins production by probiotic lactic acid bacteria. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*. 2015. 1. P. 279-296. <https://doi.org/10.1002/9781118868386>

31. Lau C.S., Chamberlain R.S. Probiotics are effective at preventing *Clostridium difficile*-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *Int J Gen Med*. 2016. Feb 22. 9. P. 27-37.

32. Sanders M.E., Merenstein D.J., Ouwehand A.C., Reid G., Salminen S., Cabana M.D., et al. Probiotic use in atrisk populations. *J Am Pharm Assoc JAPhA*. 2016. Dec. 56(6). P. 680-686.

33. Grossi E., Buresta R., Abbiati R., Cerutti R., Pro-DIA study group. Clinical trial on the efficacy of a new symbiotic formulation, Flortec, in patients with acute diarrhea: a multicenter, randomized study in primary care. *J Clin Gastroenterol*. 2010. Sep 44. Suppl 1. P. 35-41.

34. Allen S.J., Martinez E.G., Gregorio G.V., Dans L.F. Probiotics for treating acute infectious diarrhoea. *Cochrane Database Syst Rev*. 2010. 11. CD003048. P. 71-77.

35. Hempel S., Newberry S.J., Maher A.R., Wang Z., Miles J.N.-V., Shanman R., et al. Probiotics for the prevention and treatment of antibiotic-associated diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2012. May 9. 307(18). P. 1959-1969.

36. Szajewska H., Kołodziej M. Systematic review with meta-analysis: *Saccharomyces boulardii* in the prevention of antibiotic-associated diarrhoea. *Aliment Pharmacol Ther*. 2015. Oct 42 (7). P. 793–801.

37. Иванов С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Технологія оздоровчих харчових продуктів: підруч. Київ: НУХТ, 2015. 402 с.

38. Фізіологія харчування: підручник / Павлоцька Л.Ф., Дуденко Л.В., Левігін Є.Я. та ін. Суми: Університетська книга, 2011. 473 с.

39. Нутриціологія: навч. посіб. / під ред. Н.В.Дуденко. Харків: Світ книги, 2013. 560с.

40. Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaulah, M., Babalghith, A. O., Faidah, H., ... & Bantun, F. Probiotics and Cancer: Mechanistic Insights and Organ-Specific Impact. *Biomolecules*. 2025. 15(6). P. 879-897. doi.org/10.3390/biom15060879.

41. Thu, M. S., Ondee, T., Nopsopon, T., Farzana, I. A., Fothergill, J. L., Hirankarn, N., ... & Pongpirul, K. Effect of probiotics in breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Biology*. 2023. (Basel)12(2). 280 p. <https://doi.org/10.3390/biology12020280>.

42. Kleniewska, P., & Pawliczak, R. Can probiotics be used in the prevention and treatment of bronchial asthma? *Pharmacological Reports*. 2024. 76(4). P. 740-753. <https://doi.org/10.1007/s43440-024-00618-0>.

43. Sanchez, P., Letarouilly, J. G., Nguyen, Y., Sigaux, J., Barnetche, T., Czernichow, S., ... & Daïen, C. Efficacy of probiotics in rheumatoid arthritis and spondyloarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. 2022. 14(2). 354 p. <https://doi.org/10.3390/nu14020354>

44. Tsai, Y. C., Cheng, L. H., Liu, Y. W., Jeng, O. J., & Lee, Y. K. Gerobiotics: probiotics targeting fundamental aging processes. *Bioscience of microbiota, food and health*. 2021. 40(1). P. 1-11. <https://doi.org/10.12938/bmfh.2020-026>

45. Pandey K.R., Naik S.R., Vakill B.V. Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *J Food Sci Technol*. 2015. 52(12). P. 7577–7587.

46. Lee J., Seto D., Bielory L. Meta-analysis of clinical trials of probiotics for prevention and treatment of pediatric atopic dermatitis. *J Allergy Clin Immunol*. 2008. 121(1). P. 116-121.

47. Rousseaux C., Thuru X., Gelot A. et al. *Lactobacillus acidophilus* modulates intestinal pain and induces opioid and cannabinoid receptors. *Nat Med*. 2007. 13. P. 35-37.

Information about the author:

Kichura Dariia Bohdanivna,

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Organic Substances,

Institute of Chemistry and Chemical Technologies,

Lviv Polytechnic National University,

12, Stepana Bandery str., Lviv, 79000, Ukraine

TECHNOLOGY OF CRAFT BREAD WITH LIVE SOURDOUGH

Medvedieva A. O., Antonyuk I. Yu.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-17>

INTRODUCTION

Bread is one of the oldest and most important foods in human history. It is an integral part of the culture of many peoples and continues to play a significant role in the diets of people around the world.

In the current conditions of development of the food industry and restaurant industry, there is a growing interest among consumers in high-quality, natural and authentic food products and dishes. The craft products segment, which is distinguished by its original recipes, high production standards, use of local raw materials, and manual labor, has become particularly popular in recent years. One of the brightest examples of this trend is the production of craft bread, a natural product without the use of chemical additives, with a deep taste, traditional cooking technology and a unique recipe¹.

Development of new types of bread using non-traditional grains (e.g. spelt, quinoa, amaranth), starter cultures with probiotic properties, functional additives (seeds, spices, vegetables, superfoods) and modern technologies (low-temperature fermentation, gluten-free production) allows you to satisfy the growing demand for healthy food, expands the range of products and at the same time is relevant for the development of the restaurant industry, craft production and the country's food industry².

1. Analysis of the range of similar products in the craft bread production market

Ukraine has long been known as the «granary of Europe», and for centuries bread was not only the basis of the diet, but also a sacred thing, deeply rooted

¹ Красноруцький О.Б. Брендинг та крафтові технології аграрних підприємств: стратегічний аспект. Вісник Хмельницького національного університету. 2023. № 3. С. 20. URL: <https://surl.li/zueolj>.

² Новікова О.В. Технологія виробництва хлібобулочних і борошnianих кондитерських виробів: навч. посібник. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 540 с.

in the everyday life, rituals, and culture of the people. In villages, it was baked in clay ovens with its own sourdough, using rye, wheat, buckwheat, or corn flour. It is these traditional recipes and artisanal approaches, preserved in the villages, that became the basis for modern craft breadmaking³.

With the impact of Soviet industrialization, breadmaking in Ukraine underwent massive centralization. Large bakeries provided mass production of standard yeast bread, which was supposed to be cheap and accessible, but such bread lost its deep flavor, quality ingredients, and lengthy fermentation process. During this period, craft recipes were pushed out of the cities, but continued to live on in rural areas and among individual craftsmen⁴.

After the declaration of independence in 1991, a process of rethinking the gastronomic heritage began in Ukraine. In the 1990s–2000s, the first private small bakeries and home producers appeared, returning to baking sourdough bread, from natural flour, without artificial additives. At the same time, interest in healthy eating grew, which contributed to the revival of traditional crafts and approaches⁵.

Between 2020 and 2025, craft bread baking in Ukraine experienced a real boom. People increasingly appreciate the naturalness, quality, and local origin of products. Mini-bakeries, farm bakeries, and bakeries attached to coffee shops are developing rapidly. Famous Ukrainian brands have begun to successfully combine traditional recipes with modern marketing approaches. An additional impetus to the development of craft production was given by the coronavirus pandemic and the war, which highlighted the need for conscious consumption and support for local producers, in particular through the popularization of homemade bread⁶.

Craft bread differs significantly from industrial bread in both the manufacturing method and the quality of ingredients, fermentation duration, flavor characteristics, and overall production philosophy. It is prepared by hand or with minimal use of machinery, focusing on the baker's skill and individual approach. While industrial bread is produced on automated lines on a large scale, craft bread is baked in small batches, often locally⁷.

³ Хлібопекарська галузь України в умовах воєнного часу. URL: https://www.researchgate.net/publication/369525425_Хлібопекарська_галузь_України_в_умовах_воєнного_часу.

⁴ Хліб з місця сили. Історія крафтової пекарні, що відкрилася на другий день великої війни. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2023/04/06/698818>.

⁵ Калініченко Л.Л. Проблеми розвитку крафтової діяльності в Україні. Економіка: реалії часу : науковий журнал. 2022. № 5 (63). С. 26–33. С. 28.

⁶ Кузьо Н. С., Косар Н. С., Пагута М. Г. Дослідження ринку хліба та хлібобулочних виробів України та обґрунтування товарних інновацій виробників на ньому. Економіка і суспільство. 2017. № 12. С. 284-291.

⁷ Радькова В. С. Дослідження ринку та удосконалення споживчих властивостей хліба. Збірник наукових праць студентів, Луганськ, ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка. 2013. Т. 2. С. 95-106.

The basis of craft bread is natural ingredients: flour, water, salt, and live yeast, without any artificial additives, improvers, or preservatives. Instead, industrial bread often contains yeast, baking powder, stabilizers, flavorings, and emulsifiers, which extend shelf life and improve presentation, but harm the naturalness of the product.

One of the important aspects in bread production is the fermentation process. In craft baking, the dough ripens slowly – up to 24 hours, which gives it a deep taste, a distinct aroma and makes it easier to digest. In contrast, in industrial production, fermentation lasts only 1–2 hours, mostly with pressed yeast, which affects the taste. Accordingly, craft bread has a crispy crust, elastic porous crumb and rich flavor, while industrial bread is often characterized by a soft, homogeneous structure and a neutral or yeasty flavor⁸.

Due to the lack of preservatives, craft bread does not keep for long, usually 1–3 days, unlike industrial bread, which can last up to a week or longer. But the main difference lies in the approach: craft baking is about quality, respect for traditions, naturalness, and supporting the local economy, while industrial production is focused on volume, standardization, and profitability.

Slow fermentation improves the absorption of nutrients such as calcium, magnesium and iron and reduces phytates (substances that can interfere with mineral absorption).

Sourdough contains beneficial bacteria that support intestinal microflora, improve digestion, and help maintain stomach health.

Many types of craft bread (especially rye or whole grain breads) have a lower glycemic index (GI) compared to industrial bread. This means that their consumption contributes to a slower rise in blood sugar levels, which is beneficial for people with type 2 diabetes or those monitoring their blood sugar levels.

Craft bread is often made with the addition of various types of flour – rye, buckwheat, corn, which increases its nutritional value. This bread contains more fiber, vitamins (especially group B) and minerals (magnesium, potassium, iron), which helps normalize metabolism, maintain a healthy cardiovascular system and improve skin condition⁹.

Craft bread is made without the addition of compressed yeast or chemical leavening agents, which can reduce the risk of bloating, excessive gas, and other gastrointestinal problems that often occur after consuming foods containing artificial additives.

Although most types of Craft bread contain gluten, there are also gluten-free

⁸ Крафтова випічка як особливий вид хлібного мистецтва. URL: <https://surl.li/gdabbs>.

⁹ Кульчицька А. С., Царьова Т. О. Специфіка та тенденції розвитку ринку крафтової продукції в Україні. Актуальні проблеми економіки та управління. № 12. 2018. С. 3–14.

options on the market. These are beneficial for people with celiac disease or gluten intolerance because they do not cause negative reactions in the body.

Because Craft bread often does not contain trans fats or artificial fats, it is less harmful to the cardiovascular system compared to industrial breads, which use low-quality vegetable fats.

Due to the presence of whole grain flours, vitamins, and minerals present in Craft bread, this product can have a positive effect on skin health. For example, vitamin E, magnesium, and omega-3 fatty acids found in some varieties of Craft bread may help maintain healthy skin and reduce inflammation.

Craft bread can be healthy due to the use of natural ingredients, lack of artificial additives, long fermentation, and variety of ingredients. However, it is important to remember that even Craft bread should be consumed in moderation, as it is a high-calorie product.

Thus, craft bread is a «living» product with a soul, created with care for people, health, and nature, while industrial bread is a convenient and mass-produced product devoid of individuality.

The concept of «craft» in baking has its roots, craft means «skill». The term initially gained popularity in the United States in the 1970s and 1980s, where it referred to artisanal, hand-made beer (craft beer) as an alternative to mass-produced industrial products. Over time, the idea of craftsmanship spread to other areas: cheesemaking, chocolate, coffee, and later bread baking¹⁰.

Today, «craft» bread means:

- bread made by hand or in small batches;
- from natural ingredients, without additives;
- with slow fermentation on sourdough;
- with an emphasis on quality, authenticity and tradition, not on volume.

The term «craft» today is not just about a method of preparation, but about a philosophy of production, where respect for bread, the baker's skill, conscious consumption, and a connection with local culture are the main things.

The range of craft bread on the Ukrainian market is expanding significantly due to the increasing demand for natural, healthy and unique products. The range includes various types of bread from traditional wheat to innovative options, such as gluten-free or bread with added spices and olives.

The modern artisanal bread baking market is gradually shifting towards naturalness, functionality, and uniqueness of each product. One of the key areas of innovation is the use of non-traditional types of flour – spelt, buckwheat, corn, whole grain, which makes it possible to create new flavor combinations,

¹⁰ Крафтові технології: гастрономічні інновації : зб. наук. ст. студ. / відп. ред. Т. І. Юдіна. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2021. 114 с.

improve the nutritional value of bread, and meet the needs of people with dietary restrictions.

Additional appeal to craft products is given by the use of innovative fillings and additives: seeds, nuts, dried fruits, herbs, vegetables, which enrich the taste and aroma of bread.

Modern cooking methods play a significant role in improving the quality of products: the use of sourdough, prolonged fermentation, and baking in a wood-fired oven contribute to improving the structure, benefits, and naturalness of the product.

Superfoods are actively integrated into bread production: spirulina, amaranth, chia seeds, sea buckthorn, and activated charcoal, which form bread as a functional product with high health-promoting potential. The expansion of the line of gluten-free products based on pseudocereals (buckwheat, chickpeas, corn, flax) is a response to the growing demand from people with gluten intolerance¹¹.

Functional bread deserves special attention – yeast-free, enriched with fiber, proteins, and vitamins, which is fully consistent with modern principles of healthy eating.

Table 1 lists innovative products used in the production of craft bread.

Table 1

List of innovative products in the production of craft bread

Category	Examples
By type of flour	Rye, wheat, whole grain, buckwheat, corn, spelt
For the filling	With seeds, nuts, dried fruits, herbs, tomatoes, olives
By baking method	Sourdough, in a wood-fired oven, with long fermentation
With superfoods	Chia seeds, flax seeds, amaranth seeds, spirulina, activated charcoal, sea buckthorn seeds, etc
Gluten-free bread	From buckwheat, rice, chickpeas, flax, corn or a mixture of pseudocereals
Functional bread	Enriched with fiber, protein, yeast-free

Developed by the authors based on source ^{12,13, 14,15}

¹¹ Замай Ж. В., Гуменюк О. Л., Волкова Р. М., Хребтань О. Б., Цибуля С. Д., Пасов Г. В. Використання інноваційної сировини (кіноа, чорний кмин, кунжут) та її вплив на властивості пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ 2021*. Том 27, № 3, С.103-111.

¹² Васьківська А. О., Пересічна С. М. Технологія бездріжджового хліба з використанням безглютенової сировини. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. №4. 44-54.

¹³ Дзюндзя О, Звагольська К. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, № 1. 2021. 22-29.

¹⁴ Дробот В.І., Приходько Ю.С., Бережна Г.О. Борошно сорго у технології безглютенового хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 2019. № 1: С. 208.

¹⁵ Євчук Я.В. Застосування нетрадиційної сировини в технології хліба. *Вісник ЖНАЕУ*, 2017, № 1 (58), т. 1 211-221.

The analysis of the range of craft bread on the Ukrainian market showed that this segment is dynamically developing and is characterized by a high level of diversity both in terms of composition and technological features of the products. Domestic manufacturers offer a wide range of craft bakery products that meet the demand of various target audiences, from fans of traditional tastes to consumers with specific dietary needs.

The dominance of wheat bread with various innovative additives (olives, rosemary, chocolate, seeds, tomatoes) indicates the active use of original recipes to create a unique flavor profile of products.

The popularity of sourdough bread as a symbol of naturalness and a return to traditional fermentation technologies. Sourdough is used not only in rye but also in wheat breads, which adds beneficial properties and improves taste.

It is also important to note that craft bakeries are actively experimenting with shape, texture, and ingredients, offering consumers new taste experiences. This creates a positive image of craft bread as an innovative and useful product. Here is a list of some of the types of craft bread on the Ukrainian market (Table 2).

Based on the studied assortment of craft bread, it is possible to form a competitive product line focused on modern consumer demands regarding the quality, benefits, and uniqueness of bakery products. The analysis of Table 2 confirms the high potential for the development of innovative types of craft bread in bakeries in Ukraine.

Craft bread is often positioned as a natural product, made without preservatives and from high-quality raw materials, which meets the growing demand for healthy food. Trends towards veganism, gluten-free diets, low-calorie foods, and interest in organic products may contribute to an increase in demand for these types of bread. In addition, the popularity of gluten-free bread and options with added superfoods, such as seeds, nuts, and other superfoods, confirms this positive trend.

The main target audience for craft bread is people aged 26 to 50, who are focused on a healthy lifestyle. In addition, there is a strong demand for premium products among the middle class and affluent consumers, to which craft bread is often attributed.

The growing popularity of craft bakeries and local producers in cities creates a competitive environment, but also opens up opportunities for the development of this niche if the product has unique properties. High quality and the use of exclusive ingredients can be key factors for standing out in the market.

A separate niche (10%) is occupied by consumers with dietary restrictions who are focused on gluten-free products or bread with a reduced allergen content, which creates prospects for the development of a specialized assortment. The tourist segment, although smaller (15%), provides additional impetus for sales

due to the demand for authentic and unique products, in particular artisanal sourdough bread, combined with local ingredients.

Table 2

Analysis of the assortment of craft bread on the Ukrainian market

Manufacturer	Product	Product description	Bread type
Bakery «Craft», Khmelnytskyi	Sourdough bread	Traditional sourdough wheat bread with a crispy crust	Wheat, sourdough
Bakery «Good Traditions», Sniatyn	Rye bread	Sourdough bread, delicious and with a pronounced taste of rye flour	Rye, sourdough
Bakery «Dobry Hlib», Lviv	Bread with sunflower seeds	Wheat bread with sunflower seeds, fragrant and healthy	Wheat, with seeds
«Wood-fired Bakery», Pryluky	Ukrainian palyanichny bread	Traditional Ukrainian bread, baked over wood, with natural ingredients	Wheat, traditional
Bakery "Village Bread", Odessa	Sourdough bread	Kvass-based bread, rich in flavor and with a special texture	Fermented
Bakery «2 Batona», Kharkov	Bread with olives and rosemary	Wheat bread with olives and rosemary	Wheat, with olives
Bakery «Territoryya smaku», Ivano-Frankivsk	Bread with dark chocolate	Пшеничний хліб з додаванням чорного шоколаду та горіхів	Wheat, with chocolate
Bakery «Homemade delicacies», Zhytomyr	Buckwheat bread	Bread with added buckwheat flour	Wheat, with buckwheat flour
Bakery «Khliblyy Kray» Volyn region, Kovel district, Radovychi village	Chia bread	Wheat bread with chia seeds, good for digestion	Wheat, with chia
Bakery-cafe «Zerno», Irpin	Tomato bread	Sourdough bread with tomatoes and spices	Wheat, sourdough

Developed by the authors based on sources ¹⁶ .17 .18 .19.20 .21,22,23,24,25

¹⁶ Пекарня «Крафт». URL: <https://surl.li/ylponu>.
¹⁷ Пекарня «Добрі Традиції». URL: <https://surl.lu/kvqqqx>.
¹⁸ Пекарня «Добрий хліб». URL: <https://surl.li/oawoip>.
¹⁹ «Пекарня на Дровах». URL: <https://surl.cc/ozdmku>.
²⁰ Пекарня «Сільський хліб». URL: <https://hleb.com.ua>.
²¹ Пекарня «Шерегет». URL: <https://surl.li/uwhxuc>.
²² Пекарня «Територія смаку». URL: <https://surl.lu/aawshe>.
²³ Пекарня «Домашні смаколики». URL: <https://surl.li/lolnir>.
²⁴ Пекарня «Хлібний край». URL: <https://surl.li/rvsmbc>.
²⁵ Пекарня-кав'ярня «Зерно». URL: <https://surl.cc/cexrij>.

Let's consider the activities of successful craft bakeries in Ukraine and the world. Successful bakeries both in Ukraine and abroad actively integrate innovations into the production process, while maintaining attention to traditional methods. They emphasize naturalness and locality, using organic and local products, which increases appeal among consumers focused on healthy eating. For example, Bakehouse in Kyiv uses farm products and sourdough, which creates a unique taste and increases brand trust²⁶.

Sourdough starters have become a key innovation in the production of craft bread, significantly improving its quality. This has become a trend in many bakeries, such as Tartine Bakery in the USA and Khibna Manufaktura in Kharkiv, which use their own sourdough starters to achieve optimal taste qualities²⁷.

Another important aspect is the social responsibility of bakeries, such as 100% Life Bakery in Odessa, which helps to employ vulnerable groups, such as HIV-positive people. This creates additional value for consumers who support social initiatives.

Sustainability and style are important factors in the popularity of bakeries. Many brands, such as Bageriet B in Sweden, combine delicious products with eco-friendly packaging and a design approach. In Ukraine, bakeries, in particular Khibna Manufaktura, are actively implementing minimalist design and using environmentally friendly materials for packaging²⁸.

Additionally, many bakeries, like E5 Bakehouse in the UK, are creating educational programs that allow customers to deepen their knowledge of the bread-making process, which adds additional value and credibility to the brands²⁹.

Bakeries like Zdobna Pich in Lviv emphasize the importance of regional traditions, reviving authentic recipes and offering them to consumers³⁰.

Let us give examples of existing craft bakeries in Ukraine and the world (Table 3).

So, the success of a craft bakery depends on several key factors: using quality ingredients, such as organic products and sourdough, having a clear concept, which may include locality, craftsmanship or a social mission, an original visual style covering design and packaging, as well as active communication with consumers through social media, tastings or other interaction formats.

²⁶ Сторінка в Інстаграм пекарні Bakehouse у Києві. URL: <https://surl.li/drvjzk>.

²⁷ Хлібна мануфактура в Одесі. URL: <https://surl.li/nnftdx>.

²⁸ Тенденції розвитку крафтового ринку України. URL: <https://surl.li/qtoiih>.

²⁹ Пекарня E5. URL: <https://surl.li/zbbzaq>.

³⁰ Випічка з пекарні Львова. URL: <https://mlyn-bakery.choiceqr.com>.

Table 3

Successful craft bakeries in Ukraine and the world

The name of the bakery	City / Country	Format / Specialization	Characteristics of success
Bakehouse	Kyiv, Ukraine	Microbakery, cafe, artisan bread	Sourdough, local farm products, stylish interior
Zdobna Pich	Lviv, Ukraine	Bakery, traditional bread	Emphasis on regional recipes, handmade
Bread Factory	Kharkiv, Ukraine	Artisan bread, signature rolls	Own sourdough, minimalist design, collaboration with coffee shops
100% Life Bakery	Odesa, Ukraine	Social Bakery	Part of a social project for HIV-positive people, a quality product
Tartine Bakery	San Francisco, USA	Famous craft bakery	Founders of the sourdough trend in the US, recipe books, cult status
Poilâne	Paris, France	Historic bakery, artisan bread	Manufactured since 1932, wood-burning stove, international shipping
E5 Bakehouse	London, United Kingdom	Organic bread, educational programs	Own flour production, training courses, sustainable development
Bageriet B	Stockholm, Sweden	Art bakery, a modern interpretation of Scandinavian breads	Design, quality, eco-friendly packaging

Developed by the authors

Overall, there is a steady trend in the development of craft baking, which improves product quality, supports social initiatives and environmental practices, and allows bakeries to create unique offerings for consumers.

2. Consumer characteristics of the gastronomic concept of craft bread

Craft bread technology development is a multi-stage process that combines the traditions of artisanal baking with innovative approaches to recipes, technologies, and consumer expectations³¹.

The main goal is to create a product with high nutritional value, unique taste and aesthetic appearance that meets modern trends in healthy and responsible consumption.

³¹ Красовська Т. В. Методичні засади формування механізму товарного асортименту на виробничих підприємствах // Економіка та держава. 2016. №2. С. 67-71.

In order to develop innovative craft bread, you need to identify the target audience, choose an innovative idea/concept, select raw materials, develop a recipe, test the product, and create an identity.

This paper examines the issue of developing recipes and technologies for craft bread for sale in a bakery, focusing on the needs of different consumers.

The first type is whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin seeds, and tomatoes. This is a healthy choice that includes fiber-rich seeds and whole grain flour, which provides minerals and omega-3s, as well as vitamin C from the tomatoes. This bread has a dense texture and a rich nutty flavor, perfect for breakfast or as an addition to soups and salads.

The second type, a gluten-free bread made with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour, is a great choice for those who are gluten intolerant. The quinoa provides protein and amino acids, the chia adds omega-3s and calcium, and the buckwheat flour enriches the bread with iron and magnesium. The soft crumb with a nutty note will be an excellent base for sandwiches and snacks, especially for people with an active lifestyle.

The third type – sourdough, with lavender, honey and dried apricots, is positioned as a premium product due to its exclusive ingredients. Lavender adds a calming effect, honey has antibacterial properties, and dried apricots add sweetness and fiber. The fluffy crumb with the color and aroma of lavender and a hint of honey makes this bread ideal for tea parties or festive occasions.

All three products will be produced in loaf format. These breads will be clearly positioned in the premium segment due to their high quality, unique ingredients, and beneficial properties.

We present the main characteristics of the studied craft bread in Table 4.

Table 4

Characteristics of innovative craft bread

Characteristic	Craft bread		
	Whole grain bread with flax seeds, sunflower seeds, pumpkin seeds and tomatoes	Gluten-free bread with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour	Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots
Product description	Fragrant, dense, with a crispy crust and a rich nutty flavor, made with sourdough from whole grain flour, seeds, and tomatoes	Made without wheat flour, only from natural gluten-free ingredients (quinoa, chia, buckwheat)	Exquisite bread with lavender, honey and dried apricots, made with live sourdough, has a delicate aroma and taste

Continuation of table 4

Target audience	People who adhere to a healthy diet are looking for a healthy alternative to bread	People with gluten intolerance, vegans, fitness enthusiasts, people following wheat-free diets	Consumers who appreciate unique products, lovers of gastronomic experiments
Nutritional value	Flax seeds (omega-3, antioxidants), sunflower seeds (vitamins, magnesium, zinc), pumpkin seeds (iron, protein), whole grain flour (fiber, minerals), tomatoes (vitamin C)	Quinoa (protein, amino acids), chia (omega-3, calcium), buckwheat flour (iron, magnesium), low glycemic index	Lavender (calming effect), honey (antibacterial properties), dried apricots (vitamins, fiber)
Texture and taste	Dense, with a crispy crust, rich in nutty flavor	Soft, nutty, moist crumb with the graininess of quinoa	Fluffy crumb with the aroma of lavender and honey, sweet dried apricots add softness and flavor
The shape of the product	Loaf 500 g / 800 g, sliced in paper packaging, in a set of three types of grain bread, portioned	Loaf 400/600 g, portioned	Loaf 300/600 g, gift packaging, portioned
Perfect accompaniment	For breakfasts with cheese, avocado, pâtés, for bruschetta, cream soups and salads	As a base for sandwiches with hummus and vegetables, in healthy eating diets and fitness activities	Suitable for tea or coffee, for picnics, festive events, with jam or butter

Developed by the authors

The presented options for innovative craft bread demonstrate a clear focus on meeting the needs of different consumer segments, offering not only a tasty but also a functional product. Each type of bread has its own unique recipe and technology, target audience, and marketing strategy, which emphasizes the importance of a personalized approach in the production of craft products.

Production is based on traditional technology – bread is made with live sourdough with long fermentation (18–24 hours), using organic raw materials from local suppliers. All products are made by hand, without preservatives and flavor enhancers, with careful quality control at each stage.

The target audience is people who follow a healthy lifestyle, have dietary restrictions (celiac disease, veganism, diabetes), as well as gourmets and young families who value quality and uniqueness in nutrition.

Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds is made with organic whole grain wheat flour, which provides a high amount of fiber,

minerals and healthy fatty acids. Adding flax, sunflower and pumpkin seeds enriches the bread with omega-3s, antioxidants, protein and minerals, while sun-dried tomatoes add natural flavour and vitamin C. Extra Virgin olive oil improves texture and fat benefits, and natural starter enhances flavour and shelf life.

Gluten-free bread with quinoa, chia seeds and buckwheat flour, thanks to buckwheat flour and quinoa flour, is an ideal choice for people with gluten intolerance. Chia seeds, flaxseed meal, and psyllium boost the nutritional value of the bread, providing omega-3s, protein, calcium, and magnesium. Coconut or sunflower oil adds a nice flavor and texture, and minimal sweeteners help preserve the natural flavor.

Lavender, Honey and Dried Apricot Sourdough Bread is made with a premium wheat flour base for optimal texture. Lavender and honey add antibacterial and soothing properties, while unsulfurized dried apricots add natural sweetness and fiber. Grapeseed oil or butter add tenderness, and vanilla extract enhances the aroma and flavor.

The raw materials used in the production of craft bread are listed in Table 5.

Table 5

List of raw materials for innovative craft bread

Ingredient	Whole grain bread with flax seeds, sunflower seeds, pumpkin seeds and tomatoes	Gluten-free bread with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour	Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots
Flour/base	Whole wheat flour (organic)	Buckwheat flour, quinoa flour, tapioca or cornstarch	Wheat flour, grade 1 or higher
Liquid	The water is purified	The water is purified	The water is purified
Sourdough / baking powder	Natural wheat sourdough	Psyllium, baking soda + lemon juice or gluten-free baking powder	Natural wheat sourdough
Salt	Sea salt	Sea salt	Sea salt
Sugar/ sweetener	Honey or molasses (optional, to balance the flavor)	Optional: agave/stevia syrup	Natural honey (floral, acacia)
Fats/oils	Extra Virgin Olive Oil	Refined coconut or sunflower oil	Grapeseed oil or butter
Functional additives	Flax seeds, sunflower seeds, pumpkin seeds, dried tomatoes	Chia seeds (soaked), cooked quinoa, flaxseed meal, psyllium	Dried apricots (chopped), dried lavender
Flavorings / other	–	–	Vanilla extract (optional)

Developed by the authors

All craft bread recipes have a clearly defined target audience and use natural and innovative ingredients. The selection of raw materials takes into account both functional needs (healthy eating, gluten-free, dietary requirements) and gastronomic benefits (aroma, taste, texture). Each bread has its own unique properties and offers variety in consumption for different groups of people.

The developed recipes for innovative craft products are presented below. Recipe 1 «Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds» is presented in Table 6.

Table 6

Recipe 1 for «Whole Grain Bread with Flax, Sunflower, Pumpkin and Tomato Seeds»

Ingredient	Weight, g (per 500 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg	Weight, g (per 800 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg
Whole wheat flour	250	14	0,215	400	14	0,344
Flax seeds	20	10	0,018	32	10	0,029
Sunflower seeds	20	10	0,018	32	10	0,029
Pumpkin seeds	20	10	0,018	32	10	0,029
Dried tomatoes	30	15	0,026	48	15	0,041
Olive oil	20	0	0,020	32	0	0,032
Natural wheat sourdough	50	60	0,020	80	60	0,032
Sea salt	5	0	0,005	8	0	0,008
The water is purified	85	100	0,085	136	100	0,136
Total mass	500	-	-	800	-	-

Developed by the authors

Overall, recipe 1 is a successful combination of whole grain ingredients, healthy seeds, and flavorful dried tomatoes, making this bread not only delicious, but also a valuable source of nutrients. The use of natural sourdough and olive oil further emphasizes its craft character and high quality.

Recipe 2 «Gluten-free bread with quinoa, chia seeds and buckwheat flour» was developed (Table 7).

Overall, recipe 2 is a successful combination of gluten-free ingredients aimed at creating a delicious and healthy bread for people avoiding gluten.

Recipe 3 «Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots» has been developed (Table 8).

Overall, recipe 3 is an original combination of wheat flour, natural sourdough, fragrant lavender and honey, and sweet dried apricots. This bread

stands out with its unusual flavor and aroma profile, making it an innovative product in the craft bread category.

Table 7

Recipe 2 for «Gluten-free bread with quinoa, chia seeds and buckwheat flour»

Ingredient	Weight, g (per 400 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg	Weight, g (per 600 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg
Buckwheat flour	150	10	0,135	225	10	0,203
Quinoa flour	100	10	0,090	150	10	0,135
Chia seeds	20	10	0,018	30	10	0,027
Flax flour	10	10	0,009	15	10	0,014
Psyllium	10	10	0,009	15	10	0,014
Coconut oil	15	0	0,015	22	0	0,022
Sea salt	5	0	0,005	8	0	0,008
Purified water	85	100	0,085	130	100	0,130
Total weight	400	-	-	600	-	-

Developed by the authors

Table 8

Recipe 3 for «Sourdough Bread with Lavender, Honey and Dried Apricots»

Ingredient	Weight, g (per 300 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg	Weight, g (per 600 g)	Humidity, %	Dry matter content, kg
Premium wheat flour	150	14	0,1290	300.00	14	0,2580
Purified water	90	100	0,0000	180.00	100	0,0000
Natural sourdough	25	65	0,0088	50.00	65	0,0175
Natural honey	10	18	0,0082	20.00	18	0,0164
Dried apricots	15	20	0,0120	30.00	20	0,0240
Dried lavender	1,7	10	0,0015	3.33	10	0,0030
Grape seed oil	5	0	0,0050	10.00	0	0,0100
Sea salt	2,50	0	0,0025	5.00	0	0,0050
Vanilla extract	0,83	50	0,0004	1.67	50	0,0008
Total weight	300	-	-	600	-	-

Developed by the authors

3. Development of craft bread technology

For the craft production of such innovative breads as «Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds», «Gluten-free bread with quinoa, chia seeds and buckwheat flour», «Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots» an unconventional composition of products will be required.

Non-traditional products include both basic and additional ingredients that provide the unique taste, texture, and nutritional value of each type of bread. In particular, whole grain bread uses whole wheat flour, natural wheat sourdough, dried tomatoes, flax, sunflower, and pumpkin seeds, which give the product a rich flavor and additional nutritional value.

Gluten-free bread is made from buckwheat flour, flaxseed flour, quinoa flour, and chia seeds, which serve as a natural thickener and source of Omega-3.

For sourdough bread, wheat flour, natural sourdough, dried apricots, lavender, and honey are used, which create an exquisite aroma and a sweet note in the taste. This combination of ingredients not only ensures a high-quality result, but also emphasizes the author's approach to craft bread baking.

So, high-grade wheat flour is the most common in the baking industry. It has a white or cream color, fine grinding, and low ash content (0.45–0.55%). Its main technological advantage is the high content and quality of gluten (25–30%), which ensures good dough elasticity, high gas-forming and gas-retaining capacity. Wheat flour has a dough strength of $W = 250\text{--}350$ units, which allows for the production of products with a large volume and a good porous structure. Its moisture absorption capacity is 55–58%, which contributes to the formation of medium-density dough.

Whole wheat flour is made from the entire grain, including the bran and germ, and therefore has a higher ash content (1.2–1.8%) and a darker color. It is medium or coarsely ground. The gluten content is somewhat lower and its quality is reduced due to the presence of bran. The moisture absorption capacity is increased by 60–65%, which is due to the presence of fiber. The gas-forming and gas-retaining capacity is lower than that of higher-grade flour, so it is usually mixed with high-grade flour to improve technological performance. Dough based on this flour has average lifting power, takes longer to ferment, but has high nutritional value.

Buckwheat flour has a grayish-brown color, medium grinding and a characteristic nutty aroma. It does not contain gluten, so it cannot form a dough with good structural properties on its own. Its moisture absorption capacity is 65–70%. Due to the lack of gluten, it has low gas-forming and gas-retaining properties. It is often used in a mixture with wheat flour. Gives baked goods a darker color, a pronounced flavor, and high nutritional value.

Quinoa flour has a light yellow color and a pleasant nutty-earthly taste. Like buckwheat, it does not contain gluten, so it is not able to form elastic gluten. Its moisture absorption capacity is quite high – 65-68%. Used in gluten-free baking or in combination with other types of flour. Gas-forming and gas-retaining capacity is low, so the dough structure is crumbly. Quinoa flour is rich in protein, fiber and minerals.

Flaxseed flour has a dark brown color, very fine grinding and a pronounced nutty aroma. Its feature is an extremely high moisture absorption capacity – 90-110%, due to the content of soluble fibers and mucilages. Flaxseed flour does not contain gluten, so it does not form the structure of the dough on its own, but can act as a thickener or egg substitute. It has no gas-forming ability. It is added in small amounts (up to 10-20%) to other types of flour to increase nutritional value, enrich with Omega-3 fatty acids, and improve moisture retention in products.

The research process took into account temperature regimes, duration of technological operations, humidity level (if necessary), and other important features of dough preparation and baking. Such a comprehensive approach provides the opportunity to compare technologies, identify critical factors that affect the quality of the final product, and maintain optimal conditions for the production of each type of bread.

The analysis of the parameters of technological operations for three types of bread is presented in Table 9.

Table 9

Analysis of parameters of technological operations of craft bread

Bread name	Operation	Temperature, °C	Time	Additional parameters
Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds	Sifting flour	-	-	Improves dough texture
	Seed preparation (flax grinding)	-	-	The seeds are crushed for better absorption
	Grinding dried tomatoes	-	-	Tomatoes cut into small pieces
	Activating the starter	22-26	30-40 min	Room temperature water to activate the starter
	Dough Kneading	-	10-15 min	Soft, elastic dough, does not stick to hands
	Fermentation	22-26	1,5-2 hours	Cover the dough with a towel, knead 1-2 times
	Forming and rising	22-26	30-40 min	At room temperature
	Baking	220	35-40 min	Steam oven for crispy crust
	Cooling	20–25	30 min	On a wire rack after baking until completely cooled

Continuation of table 9

Gluten-free bread with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour	Mixing dry ingredients	-	-	Mix thoroughly for even distribution
	Combining with liquid ingredients	-	-	Room temperature water, melt oil
	Proving	-	30-40 min	In a warm place, bread rises slightly
	Baking	180	40-50 min	Cover with foil if top starts to burn
	Cooling	20-25 °C	1 hours	On a wire rack after baking until completely cool
Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots	Flour sifting	-	-	Determines the texture of the dough
	Sourdough activation	24-26	4-6 hours	Water temperature 22-26°C
	Autolysis	24-26	30 min	90% water is added to the flour to form hydration
	Dough kneading	24-26	10-15 min	Moderately elastic dough, honey and other ingredients are added
	Fermentation	24-26	3-4 hours	2-3 passes with an interval of 45-60 min
	Proving	20-22	2-2,5 hours	or 8-12 hours in the refrigerator
	Baking	230-240	30-35 min	First 10 min with steam, then 20-25 min at 200-210°C
	Cooling	20-25	1-2 hours	On a wire rack after baking until completely cooled

Developed by the authors

A comparison of technological operations shows that each type of bread has its own specifics of preparation. For example, gluten-free bread requires longer cooling to stabilize the structure, while sourdough bread requires prolonged fermentation and controlled proofing, which can last up to 12 hours in the cold. Whole grain bread with seeds requires less fermentation time, but careful preparation of the ingredients (grinding, soaking, etc.) is important.

Maintaining the appropriate temperatures, times and sequence of operations are critical to producing quality bread with the desired texture, aroma and taste characteristics. The final cooling stage at 20-25°C ensures crumb structure stabilization and crust preservation.

The technology for making bakery products consists of several consecutive stages: preparation of sourdough starters and doughs with long fermentation (12-18 hours), kneading the dough by hand or in a mixer, shaping the products in accordance with the craft approach, proofing in controlled conditions, baking in combi steamers or stone ovens depending on the recipe. After baking, the products are cooled and packed in environmentally friendly craft packaging with branded labels. All production operations are accompanied by log keeping, the HACCP system has been implemented for critical point analysis, and the residue of raw materials and finished products is monitored.

In order to assess the nutritional value of innovative types of craft bread, an analysis of their physicochemical composition was conducted. Table 10 shows data on the content of basic macronutrients (proteins, fats, carbohydrates) and energy value per 100 grams of product.

Table 10

Physico-chemical composition of innovative craft bread, per 100 g

Nutrient	Indicator		
	Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds	Gluten-free bread with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour	Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots
Proteins, g	8,03	9,37	4,7
Fats, g	10,53	7,78	2,2
Carbohydrates, g	33,16	43,68	36,3
Energy value, kcal	261,25	281,00	180,6

Developed by the authors

Each type of innovative craft bread has clear quality requirements, including appearance, color, texture, taste, and aroma. Since each bread has its own unique characteristics, it is important to adhere to technological requirements and standards to achieve the desired result in each category.

Table 11 describes the main criteria that determine the quality of bread, in particular for whole grain bread, gluten-free bread and sourdough bread with lavender and honey. This will help not only to ensure high quality products, but also to improve product recipes and technology, meeting consumer needs.

Technological requirements for each type of bread are aimed at ensuring high quality of the finished product, which will satisfy consumer requirements in terms of both taste and organoleptic characteristics.

Table 11

Quality requirements for innovative craft bread

Indicators	Whole grain bread with flax, sunflower, pumpkin and tomato seeds	Gluten-free bread with quinoa, chia seeds, and buckwheat flour	Sourdough bread with lavender, honey and dried apricots
Appearance	Evenly baked golden brown crust without cracks, with visible flax, sunflower, pumpkin seeds and pieces of dried tomatoes	Rectangular or round shape, smooth, evenly browned, golden brown crust without burnt areas	The loaf has the correct shape, an even, well-baked crust without cracks or carbon deposits
Color	The crust is golden brown, the crumb is beige or light brown.	The crust is golden brown, the crumb is light brown or grayish, uniform with seed inclusions. The texture is dense, moist, elastic without stickiness, evenly baked, fine or medium porosity.	The crust is golden brown, the crumb is light beige with specks of dried apricots and lavender.
Texture	The crumb is porous, soft, elastic, does not crumble when cut, is not dense or dry.	The crust is golden brown, the crumb is light brown or grayish, uniform with seed inclusions. The texture is dense, moist, elastic without stickiness, evenly baked, fine or medium porosity.	The crumb is elastic, evenly porous, not sticky, tender and springy.
Taste	Nutty flavor with sourdough and a light hint of tomatoes.	The taste is pleasant, typical of gluten-free baking with nutty notes from buckwheat, quinoa, chia and flax.	Moderately sweet taste with a slight sourness.
Aroma	The aroma of freshly baked bread with olive oil and a light smell of fermentation.	The aroma is pleasant, with nutty notes (from buckwheat, quinoa, chia, flax).	The aroma is distinct with notes of sourdough, lavender and honey.

Developed by the authors

CONCLUSIONS

The developed recipes for three types of bread are based on the principles of naturalness and innovation, using unique combinations of ingredients (whole grain wheat flour, quinoa flour, buckwheat flour, chia seeds, lavender, dried apricots). The production involves the use of natural sourdough and long

fermentation (18–24 hours), which provides a deep taste and improves the properties of the bread. Each recipe is detailed, taking into account the mass of components, their moisture content and dry matter content, which guarantees stable product quality.

Technological maps and recipes have been drawn up for the three types of craft bread developed, they have been introduced into production in the bakery and can be recommended for consumption by all segments of the population to improve their diets.

SUMMARY

Development of new types of bread using non-traditional grains (e.g. spelt, quinoa, amaranth), starter cultures with probiotic properties, functional additives (seeds, spices, vegetables, superfoods) and modern technologies (low-temperature fermentation, gluten-free production) allows you to satisfy the growing demand for healthy food, expands the range of products and at the same time is relevant for the development of the restaurant industry, craft production and the country's food industry.

Craft bread differs significantly from industrial bread in terms of the method of production, the quality of ingredients, the duration of fermentation, the taste characteristics, and the general philosophy of production. It is prepared by hand or with minimal use of machinery, focusing on the baker's skill and individual approach.

One of the important aspects of bread production is the fermentation process. In craft baking, the dough ripens slowly – up to 24 hours, which gives it a deep taste, a distinct aroma and facilitates digestion. The sourdough contains beneficial bacteria that support the intestinal microflora, improve digestion and help maintain a healthy stomach.

Superfoods are actively integrated into bread production: spirulina, amaranth, chia seeds, sea buckthorn, activated carbon, which form bread as a functional product with high health potential. Expansion of the line of gluten-free products based on pseudocereals (buckwheat, chickpeas, corn, flax) is a response to the growing demand from people with gluten intolerance.

The paper considers the issue of developing recipes and technologies for craft bread for sale in a bakery, focusing on the needs of different consumers. The first type of craft bread is whole grain bread with flax seeds, sunflower, pumpkin and tomatoes; the second – gluten-free bread with quinoa, chia seeds and buckwheat flour, will be an excellent choice for those with gluten intolerance; the third – sourdough, with lavender, honey and dried apricots, is positioned as a premium product due to its exclusive ingredients.

In the process of creating craft bread, temperature regimes, duration of technological operations, humidity level, and other important features of dough preparation and baking are taken into account. Such a comprehensive approach provides the opportunity to compare technologies, identify critical factors that affect the quality of the final product, and maintain optimal conditions for the production of each type of bread.

The technology for making bakery products consists of several consecutive stages: preparation of sourdough starters and doughs with long fermentation (12-18 hours), kneading the dough by hand or in a mixer, shaping the products in accordance with the craft approach, proofing under controlled conditions, baking in combi steamers or stone ovens, depending on the recipe.

The studied bread has certain physicochemical indicators, but differs in that it does not contain flour improvers, preservatives, or flavor enhancers, which makes its shelf life shorter than industrial types of bread.

For each type of innovative craft bread, clear quality requirements are set, including appearance, color, texture, taste and aroma, as each bread has its own unique characteristics.

The target audience for consuming craft bread is people who follow a healthy lifestyle and have dietary restrictions (celiac disease, veganism, diabetes), as well as gourmets and young families who value quality and uniqueness in nutrition.

Bibliography

1. Красноруцький О.Б. Брендинг та крафтові технології аграрних підприємств: стратегічний аспект. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. № 3. С. 20. URL: <https://surf.li/zueo1j>.

2. Новікова О.В. Технологія виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів: навч. посібник. К.: Видавництво Ліра-К. 2017. 540 с.

3. Хлібопекарська галузь України в умовах воєнного часу. URL: https://www.researchgate.net/publication/369525425_Нлібопекарська_галузь_України_в_умовах_воєнного_часу.

4. Хліб з місця сили. Історія крафтової пекарні, що відкрилася на другий день великої війни. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2023/04/06/698818>.

5. Калініченко Л.Л. Проблеми розвитку крафтової діяльності в Україні. *Економіка: реалії часу*. № 5 (63). С. 26–33. С. 28.

6. Кузьо Н. С., Косар Н. С., Пагута М. Г. Дослідження ринку хліба та хлібобулочних виробів України та обґрунтування товарних інновацій виробників на ньому. *Економіка і суспільство*. 2017. №. 12. С. 284-291.

7. Радькова В. Є. Дослідження ринку та удосконалення споживчих властивостей хліба. *Збірник наукових праць студентів*. Луганськ, ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка. 2013. Т. 2. С. 95-106.

8. Крафтова випічка як особливий вид хлібного мистецтва. URL: <https://surl.li/gdabbs>.

9. Кульчицька А. Є., Царьова Т. О. Специфіка та тенденції розвитку ринку крафтової продукції в Україні. *Актуальні проблеми економіки та управління*. № 12. 2018. С. 3–14.

10. Крафтові технології: гастрономічні інновації : зб. наук. ст. студ. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2021. 114 с.

11. Замай Ж. В., Гуменюк О. Л., Волкова Р. М., Хребтань О. Б., Цибуля С. Д., Пасов Г. В. Використання інноваційної сировини (кіноа, чорний кмин, кунжут) та її вплив на властивості пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ 2021*. Том 27, № 3, С.103-111.

12. Васьківська А. О., Пересічна С. М. Технологія бездріжджового хліба з використанням безглютенової сировини. *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки. 2022. №4. 44-54.

13. Дзюндзя О, Звагольська К. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки. № 1. 2021. 22-29.

14. Дробот В.І., Приходько Ю.С., Бережна Г.О. Борошно сорго у технології безглютенового хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. № 1: С. 208.

15. Євчук Я.В. Застосування нетрадиційної сировини в технології хліба. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017, № 1 (58), т. 1 211-221.

16. Пекарня «Крафт». URL: <https://surl.li/yIponu>.

17. Пекарня «Добрі Традиції». URL: <https://surl.lu/kvqqux>.

18. Пекарня «Добрий хліб». URL: <https://surl.li/oawoip>.

19. «Пекарня на Дровах». URL: <https://surl.cc/ozdmku>.

20. Пекарня «Сільський хліб». URL: <https://hlebe.com.ua>.

21. Пекарня «Шерегет». URL: <https://surl.li/uwhxuc>.

22. Пекарня «Територія смаку». URL: <https://surl.lu/aawshe>.

23. Пекарня «Домашні смаколики». URL: <https://surl.li/loInir>.

24. Пекарня «Хлібний край». URL: <https://surl.li/rvsmbc>.

25. Пекарня-кав'ярня «Зерно». URL: <https://surl.cc/ceXrij>.

26. Сторінка в Інстаграм пекарні Bakehouse у Києві. URL: <https://surl.li/drvjkz>.

27. Хлібна мануфактура в Одесі. URL: <https://surl.li/nnftdx>.

28. Тенденції розвитку крафтового ринку України. URL: <https://surl.lu/qtoiih>.

29. Пекарня Е5. URL: <https://surl.li/zbbzsq>.
30. Випічка з пекарні Львова. URL: <https://mlyn-bakery.choiceqr.com>.
31. Красовська Т. В. Методичні засади формування механізму товарного асортименту на виробничих підприємствах. *Економіка та держава*. 2016. №2. С. 67-71.

Information about the authors:

Medvedieva Anzhelika Oleksandrivna,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Restaurant and Craft Technologies,
State University of Trade and Economics,
19, Kioto str. Kyiv, 02156, Ukraine

Antoniuk Iryna Yuriivna,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Restaurant and Craft Technologies,
State University of Trade and Economics,
19, Kioto str. Kyiv, 02156, Ukraine

ІННОВАЦІЇ У ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАМОРОЖУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ КРІОПРОТЕКЦІЇ

Сімахіна Г. О.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-18>

ВСТУП

Інновації, нововведення, інноваційна діяльність та інноваційна політика – це нові категорії, які з'явилися в економічному розвитку нашої держави в умовах ринкових відносин. «Щоб мати майбутнє, треба бути готовим зробити щось нове», – сказав ще 1909 року Пітер Друкер, американський спеціаліст із менеджменту. Цю тему продовжив Йозеф Шумпетер, австро-американський економіст і соціолог: **«Прибуток може бути отриманий лише в результаті переваг, які дає інновація»**. Сьогодні у діловому світі цю тезу називають теоремою Шумпетера¹.

Характерна прикмета сучасного етапу економічно розвинених передових країн – інноваційний шлях розвитку, в основі якого лежить цілеспрямований процес пошуку, підготовки і реалізації інновацій, які дозволяють підвищити ефективність суспільного виробництва, в нашому випадку – **виробництва нових харчових продуктів з поліпшеними характеристиками**.

Створення в Україні індустрії здорового харчування, основою якої стануть нові технології та нові харчові продукти, визначається необхідністю забезпечити населення країни здоровим, функціональним харчуванням як основним елементом підвищення якості життя людини та поліпшення стану її здоров'я.

Для реалізації поставлених завдань оптимальним шляхом розвитку технологій та економіки є **інноваційний шлях**, який супроводжується постійним оновленням технологій, товарів і послуг різноманітного призначення, ростом їх конкурентоспроможності як на внутрішньому, так і зовнішньому ринках, стабілізацією і розширенням ринків збуту, а отже,

¹ Schumpeter, J. Theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1934. P. 147.

зростанням зайнятості населення, ефективним використанням науково-технічного потенціалу і стимулюванням його росту.

У забезпеченні населення країни продукцією для здорового харчування плоди, ягоди та овочі посідають особливе місце. Однак це продукція сезонного характеру і низької стійкості при зберіганні, тому необхідно розробляти та вдосконалювати технології її консервування, передусім з використанням штучного холоду в усіх його модифікаціях та варіантах застосування. Багаторічний світовий науковий і практичний досвід показав, що низькотемпературне консервування є унікальним способом зберегти при переробленні харчову та біологічну цінність рослинної сировини і продукції на її основі.

Метою даної роботи є науково-практичне обґрунтування та вдосконалення технології швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів підвищеної біологічної цінності і споживчих характеристик з використанням методів кріопротекції. Науково обґрунтовано, експериментально підтверджено ефективність попереднього оброблення кріопротекторами (17 водних розчинів органічних та мінеральних сполук) плодів і ягід для захисту їхніх структур від ушкоджень при швидкому заморожуванні, в результаті чого втрати найбільш термолабільної сполуки (вітаміну С) зменшились із 80...95 % до 8...15 %².

На підставі встановленого позитивного ефекту поєднання штучного холоду та методі кріопротекції при консервуванні рослинної сировини, дослідження їхнього впливу на фізико-хімічні, технологічні, мікробіологічні показники плодів і ягід удосконалено технологію швидкозаморожених напівфабрикатів з попереднім обробленням сировини водними розчинами кріопротекторів. Їх використання запобігає механічним ушкодженням тканин, зменшує втрати клітинного соку при дефростації, забезпечує належні якісні та органолептичні показники.

1. Наукові підходи до вибору найефективнішого способу консервування рослинної сировини

Для подолання вітамінного дефіциту у раціонах харчування населення найбільшого значення надається плодовоовочевій та ягідній сировині, яка у процесі свого росту накопичує значні концентрації цінних біологічно активних речовин. Це продукція сезонного характеру, і для ефективного використання упродовж року її консервують³. Найбільш досконалим

² Сімахіна Г.О., Кочубей-Литвиненко О.В., Науменко Н.В., Камінська С.В. Кріоушкодження та кріозахист у холододових технологіях: монографія. Київ: Видавництво «Сталь», 2022. С. 10.

³ Сімахіна Г.О., Кочубей-Литвиненко О.В., Науменко Н.В., Камінська С.В. Зазнач. вид. С. 8.

є спосіб заморожування. Тому попит на заморожені напівфабрикати у світі постійно зростає, їхній товарообіг щорічно збільшується на 4-6 %⁴, приваблюючи споживачів високою біологічною цінністю, належними органолептичними показниками⁵ і практично не відрізняючись від свіжої сировини⁶, навіть при тривалому зберіганні⁷. Лідерами у виробництві, споживанні та експорті замороженої плодово-ягідної продукції є Великобританія, Німеччина, Франція, Польща⁸.

Особливе місце серед рослинної сировини посідають культивовані і дикорослі ягоди – концентратори вітамінів і мінеральних сполук, які набувають дедалі більшого значення в оздоровчому, профілактичному, дієтичному харчуванні⁹, передусім в екстремальних умовах життєдіяльності¹⁰. Тому заморожування саме таких видів сировини потребує першочергового пошуку і впровадження ефективних інновацій¹¹, адже плоди і ягоди мають антивірусну, антибактеріальну, антирадіаційну дію та є постачальниками речовин вторинного синтезу – поліфенолів, ароматичних сполук, летких кислот, які формують аромат, запах і смак свіжих ягід¹².

Разом з тим, ягоди є найбільш складним об'єктом для заморожування, зважаючи на високий вміст у їхньому складі води (до 90%), надзвичайно ніжну покривну тканину, низьку стійкість при зберіганні. Це вимагає пошуку інноваційних рішень при розробленні технологій заморожування

⁴ Frozen fruit (2018). Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (access date 05.01.2026)

⁵ Goyal, R.K., Verma, L.R., & Joshi, V.K. (2000). Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables. Indus Publishing, New Delhi. P. 356.

⁶ Rickman, J.C., Barrett, D.M., & Bruhn, C.M. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Sci Food Agric*. 2007. Vol. 87. P. 938.

⁷ Poiana, M., Moigradean, D., Raba, D., Alda, L.-M. & Popa, M. The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol. 8, issue 1. P. 54.

⁸ Звіт «Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010-2018)». URL: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#> (дата звернення 05.01.2026)

⁹ Козярін І.П. Дієтопрофілактика в умовах радіоактивного забруднення довкілля. *Фітотерапія в Україні*. 2009. №3-4. С. 49.

¹⁰ Сімахіна Г.О., Науменко Н.В., Камінська С.В. Особливості харчування в екстремальних умовах життєдіяльності. *Grail of Science. International Scientific Journal*. 2021. Vol. 11. P. 142. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.026>

¹¹ Сімахіна Г.О., Грегірчак Н.М., Науменко Н.В., Камінська С.В. Вітамінна цінність та мікробіологічна безпека заморожених плодів вишні при зберіганні. *Наукові праці НУХТ*. 2024. №2. С. 156.

¹² Sandell, M., Laaksonen, O., & Lunden, S. Flavour properties and chemistry of berries. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/286026759_Flavour_properties_and_chemistry_of_berries (access date 10.01.2026)

ягідних культур¹³. Однією з найбільш перспективних інновацій є поєднання штучного холоду з використанням сполук-кріопротекторів. Хоча фундаментальні і прикладні дослідження в даному напрямі було виконано ще у 1970-ті роки у кріобіологічних центрах США, Англії, Франції, Японії, наприкінці 1990-х років узагальнені і розвинуті на новому рівні вітчизняними ученими А. Білоусом, В. Грищенком, М. Пушкарем, Є. Гордієнком¹⁴, лише останнім часом даний напрям став предметом досліджень і в галузях харчових технологій. Результати показали¹⁵, що теоретичні знання, які стали надбанням кріобіології, можна успішно адаптувати до процесів заморожування ягідної сировини і мінімізувати втрати найбільш лабільного компонента – аскорбінової кислоти до 5-7 %. Це відбувається за рахунок того, що в оброблених водними розчинами кріопротекторів ягодах істотно гальмується розвиток поза- та внутрішньоклітинного кристалоутворення, яке є основним руйнівним чинником клітин і тканин заморожуваних об'єктів. Таких результатів щодо мінімізації втрат аскорбінової кислоти при заморожуванні ягід за традиційною технологією досягти не вдалося¹⁶.

Дослідження проводили з дикорослими ягодами аронії чорноплідної, калини, ожини, малини, чорниці, широко розповсюдженими на території Центральної та Східної Європи. Вибір матеріалів для дослідження ґрунтувався на відповідності їхніх показників попередньо встановленим критеріям оцінки плодів і ягід для отримання заморожених напівфабрикатів високої біологічної цінності¹⁷, наведеними у таблиці 1.

Аналіз наведених критеріїв свідчить про гарантовану якість заморожених ягід (аронії чорноплідної, калини, ожини, малини, чорниці), їхні належні органолептичні показники та підвищену біологічну цінність навіть при тривалому зберіганні.

Усі досліджувані зразки обробляли розчинами кріопротекторів органічної та мінеральної природи, ефективність яких описано в роботах з кріобіології¹⁸ і перевірено в наших дослідженнях.

¹³ Павлюк Р.Ю., Погарська В.В. Нове в технології отримання заморожених ягід та пюре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства*. 2013. Т. 1, №1. С. 3.

¹⁴ Белоус А.М., Грищенко В.И. Кробиология: монография. Киев: Наукова думка, 1994.

¹⁵ Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-Zhezherun, S., Kaminska, S. Impact of Cryoprotection on Minimization of Ascorbic Acid Losses in Freezing of Berries. *Ukrainian Food Journal*. Vol. 8, issue 2. P. 273.

¹⁶ Noormets, M., Karp, K., Starast, M., Leis, L., Muru, K. The influence of freezing on the content of ascorbic acid in Vaccinium species berries. *Acta Hort*. 2006. Vol. 715. P. 539.

¹⁷ Сімахіна Г.О. Основні показники придатності плодів і ягід до заморожування. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2018. Т. 29, №1. С. 76.

¹⁸ Wagner, C.T., Martowicz, M.L., Livesey, S.A., Connor, J. Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*. 2012. Vol. 45, issue 2. P. 160.

**Основні критерії вибору плодово-ягідних культур,
придатних для заморожування**

Критерій	Характеристика критерію
Комплекс біологічно активних речовин плодів та ягід	Повнота харчової та біологічної цінності сировини і готової продукції для задоволення нутритивних потреб організму людини впродовж року
Глюкоацидометричний індекс	Співвідношення цукрів та органічних кислот при оптимальному його значенні 6...7:1
Кореляція між вмістом аскорбінової кислоти і біофлавоноїдів	Найбільший ефект аскорбінової кислоти виявляється при спільній дії з біофлавоноїдами
Наявність каротиноїдів	Свідчення антиоксидантних, онкопротекторних, загальнозміцнюючих властивостей
Вміст природних кріопротекторів	Високий вміст цукрів з переважаючою концентрацією глюкози та фруктози як стабілізаторів внутрішньоклітинних структур при заморожуванні
Здатність біокомпонентів до холодової адаптації	Протидія кріоушкодженням, збереження якісних та органолептичних показників заморожених та дефростованих напівфабрикатів
Тип покривної тканини плодів та ягід	Збереження цілісності поверхні при заморожуванні, зберіганні та дефростації напівфабрикатів
Органолептичні показники – мінімальна розбіжність між свіжими, замороженими та дефростованими об'єктами	Зовнішній вигляд, колір, аромат, смак, консистенція плодів та ягід після дефростації, як візуальна характеристика їх споживчих властивостей, перспектива реалізації на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Для попереднього оброблення ягід застосували комбінований протектор – водний 10%-ний розчин сахарози спільно з 1%-ним розчином лимонної кислоти, який, за даними¹⁹, виявив найбільшу ефективність. Цим кріопротектором обробляли зразки ягід протягом 40-60 хв. при температурі 20 °С після їх миття та очищення від сторонніх домішок.

Після оброблення кріопротекторами ягоди осушували від зайвої вологи і заморожували у швидкоморозильній камері розсіпом при температурі –35...–37 °С, що відповідає параметрам швидкого заморожування²⁰. Процес триває до досягнення в центрі ягід температури –18 ± 1 °С.

Заморожені ягоди пакували в пакети по 500 г, дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки, зберігали протягом 12 місяців (максимальний термін) при температурі –18 °С і відносній вологості

¹⁹ Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-Zhezherun, S., Kaminska, S. Op. cit. P. 276.

²⁰ Singh R.P., Mannapperuma J.D. Development in Food Freezing. In: *Biotechnology and Food Process Engineering*. H.G. Schwartzberg, M.A. Rao (eds). New York: Marcel Dekker, 1990.

не більше ніж 95 %. При підготовці ягід до дослідження на вміст основних біохімічних компонентів, органолептичних характеристик, мікробіологічної безпеки проводили дефростацію при температурі 34...40 °С на водяній бані.

Результати досліджень, виконаних на 23 видах плодово-ягідної сировини, однозначно показали, що саме вибір ефективних кріопротекторів, їх концентрацій, умов проведення попереднього оброблення плодів і ягід є основною інновацією у вдосконаленні технології швидкозаморожених напівфабрикатів і необхідним її елементом. Для проведення експериментальних досліджень в оптимальних умовах здійснено трифакторний експеримент та отримано рівняння регресії, що виявилось актуальним як для теорії, так і практичного вдосконалення даної технології.

Використання математичної моделі дозволяє розв'язати практичні задачі: знайти оптимальні параметри технологічного процесу, щоб досягти виробництво продукту найвищої якості. В нашому випадку підібрати оптимальну тривалість оброблення, створити комбінований кріопротектор, який забезпечить максимальне збереження вітаміну С при заморожуванні, а також прогноз зміни вмісту вітаміну С від зовнішніх чинників – зміни концентрації кріопротектора та тривалості оброблення ягід²¹.

Розроблена нами технологія заморожування сировини з кріопротекторами допускає цілеспрямовану зміну всіх найбільш суттєвих вхідних факторів (тривалість обробки сировини кріопротекторами та підбір комбінованого кріопротектора). Тому для побудови математичної моделі нашого об'єкта ми застосовували повний трифакторний експеримент, при цьому ми прагнули до мінімізації числа дослідів, одночасно варіюючи всі змінні, які визначають процес; обирали чітку стратегію, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів²².

Параметром оптимізації ми обираємо показник вмісту аскорбінової кислоти у свіжій та замороженій сировині, оскільки саме він свідчить про досконалість розробленої технології.

Ми здійснили трифакторний експеримент для визначення умов попереднього оброблення ягід смородини чорної комбінованим кріопротектором – сумішшю глюкози і лимонної кислоти, що забезпечують мінімальні втрати аскорбінової кислоти при заморожуванні. На основі результатів попередніх досліджень прийняли вміст лимонної кислоти

²¹ Камінська С.В., Місюра Т.Г., Сімахіна Г.О. Математична модель прогнозування вмісту аскорбінової кислоти в заморожених ягодах. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, №4. С. 213.

²² Бодров В.С., Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г. Математико-статистичні методи досліджень. Київ: НУХТ, 2007. С. 157.

від 0,5 до 1,5%, оскільки збільшення концентрації негативно впливало на органолептичні показники заморожених ягід. При трифакторному експерименті в якості змінних виступають такі показники:

x_1 (C_1) – вміст глюкози, %;

x_2 (C_2) – вміст лимонної кислоти, %;

x_3 (t) – тривалість оброблення, хв.

y ($BimC$) – вміст вітаміну С в ягодах чорної смородини.

У загальному вигляді функцію можна представити так:

$$y = f(x_1, x_2, x_3)$$

Розроблена математична модель має такий вигляд²³:

$$\hat{y} = 3,094 * C_1 + 74,547 * C_2 + 0,551 * t - 3,659 * C_1 * C_2 + \\ + 0,007 * C_1 * t - 1,568 * C_2 * t + 0,105 * C_1 * C_2 * t + 79,74$$

2. Ефективність використання кріопротекторів.

Наукові та практичні аспекти

У роботі А. Білоуса та В. Грищенка дано таке визначення: «Кріопротекторами називають сполуки, які здатні запобігати розвитку ушкоджень біологічних об'єктів при їх заморожуванні і подальшому відігріванні»²⁴. Загальними властивостями кріопротекторів дослідники вважають наявність у їхній структурі полярних молекул, здатних взаємодіяти як із молекулами води, металами, солями, так і з компонентами мембран і біополімерами; їхню здатність впливати на процеси кристалізації, сприяючи формуванню дрібнокристалічного льоду, котрому не властиві сильні поля напруги.

Зміна структури льоду під дією кріопротекторів знижує ступінь механічного впливу на цитоплазматичні структури мембрани. У присутності кріопротектора виморожування вільної фракції води з кріозахисного середовища перебігає в широкій температурній зоні й завершується при концентрації невимерзлої води до 20...30%²⁵.

За літературними даними, найбільш дослідженими є такі кріопротектори²⁶: етанол, гліцерин, сорбіт, глюкоза, фруктоза, сахароза²⁷,

²³ Камінська С.В., Місюра Т.Г., Сімахіна Г.О. Знач. праця. С. 214.

²⁴ Белоус А.П., Грищенко В.И. Указ. соч.

²⁵ Boutron, P. & Kaufmann, A. Stability of the amorphous state in the system water-glycerol ethylene glycol. *Cryobiology*. 1990. Vol. 1. P. 86.

²⁶ Горяча І.В. Стійкість дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та еритроцитів до холодових впливів в умовах оксидативного стресу: автореф. дис. ... канд. біол. наук (03.00.09 – кріобіологія). Харків, 2015. С. 3.

²⁷ Горобченко О.О., Шевченко Н.О., Ліпіна О.В., Ніколов О.Т., Мусатова І.Б. Діелектрична проникність здатних до вітрифікації кріозахисних середовищ. *Біофізичний вісник*. 2016. Вип. 35 (1). С. 33.

лактоза, диметилсульфоксид (ДМСО), гліцин, лимонна кислота, декстрин, гідроксиетилкрохмаль (ГЕК), желатин, хлористий магній, сульфат натрію, цитрати натрію і калію. Також ефективним є використання комбінації кріопротекторів із числа перерахованих²⁸.

Тому вивчення теоретичних і практичних аспектів використання кріопротекторів для попереднього оброблення матеріалів перед заморожуванням є досить актуальною, багатофункціональною та важливою проблемою для інноваційних харчових технологій із застосуванням штучного холоду.

Уже зазначали, що вірогідним індикатором ефективності оброблення плодів і ягід перед заморожуванням розчинами кріопротекторів є ступінь збереження основних біокомпонентів у дефростованих напівфабрикатах. Таким компонентом є передусім вітамін С, найбільш термолабільний і найбільш чутливий до будь-яких технологічних процесів. Тому за ступенем його збереження можна об'єктивно судити про ефективність застосування тих чи тих кріопротекторів для попереднього оброблення сировини.

У таблиці 2 наведено результати вмісту аскорбінової кислоти у плодово-ягідній сировині залежно від виду її оброблення.

Таблиця 2

**Зміни вмісту вітаміну С у плодах і ягодах,
заморожених традиційним способом**

Дослідні зразки	Вміст вітаміну С, мг/100 г			НІР _{0,5}
	вишня	чорна смородина	малина	
Свіжі	130,4	243,6	193,3	0,8
Заморожені (контроль)	104,9	202,0	142,5	0,7
Заморожені і дефростовані (контроль)	48,5	108,1	56,1	0,9

Джерело: авторська розробка²⁹.

Аналіз даних таблиці показав, що щойно заморожені за традиційною технологією плоди і ягоди уже втрачають певну кількість аскорбінової кислоти. І якщо її вміст у свіжій сировині прийняти за 100%, то втрати в заморожених вишнях склали 19,6 %; чорній смородині – 16,8 %; малині – 26,3 %. Це є результатом руйнівного впливу поза- та

²⁸ Сімахіна Г.О. Кріошкодження рослинних структур при заморожуванні і методи кріопротекції: теоретичні аспекти. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28, №5. С. 93.

²⁹ Сімахіна Г.О. Удосконалення технології заморожування ягід поєднанням штучного холоду і кріопротекції. *Вчені записки Таверійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Т. 30 (69), №4. 2019. С. 118.

внутрішньоклітинних кристалів льоду, утворених при низьких температурах, на мембрани клітин ягід і субклітинні структури³⁰. Внаслідок цього частина клітин втрачають свою цілісність, цитоплазмова оболонка (каркас клітини) розривається (Білоус), призводячи до безпосереднього контакту біологічно активних речовин, які містяться всередині клітини, з оксидоредуктазами. Вони прискорюють біохімічні реакції окислення, внаслідок чого вітамін С руйнується.

Її втрати істотно зростають при дефростації ягід у результаті витікання клітинного соку разом із розчиненими в ньому біокомпонентами з кріоушкоджених клітин. Так, вони підвищились до 62,8 % у вишнях; 55,6 % у ягодах чорної смородини та 71 % у ягодах малини. Внаслідок цього харчова та біологічна цінність напівфабрикатів різко знижується, і навіть із найбільш якісної сировини неможливо отримати ідентичні продукти.

Наступним етапом досліджень є з'ясування вмісту вітаміну С у дефростованих плодах і ягодах, попередньо оброблених розчинами різних кріопротекторів. У таблиці 3 наведено результати вмісту аскорбінової кислоти (у процентному співвідношенні до цього показника у свіжих плодах та ягодах: вишні – 130,4 мг / 100 г; ягоди чорної смородини – 243,6 мг / 100 г; ягоди малини – 193,3 мг / 100 г, прийнятого за 100 %) у дефростованих плодах і ягодах після 12 місяців зберігання, заморожених за вдосконаленою технологією з використанням кріопротекторів.

Таблиця 3

Залежність концентрації вітаміну С у дефростованих зразках від виду кріопротектора

Використаний кріопротектор	Вміст вітаміну С, % до вмісту у свіжій сировині		
	вишні	чорна смородина	малина
MgCl ₂ (15%)	76,8	70,7	62,4
Сахароза (10%)	78,7	76,5	64,0
Фруктоза (10%)	64,9	63,8	58,8
Глюкоза (10%)	75,8	64,2	57,7
Сахароза (10%) + лим. к-та (1%)	83,5	81,8	75,5
Фруктоза (10%) + лим. к-та (1%)	74,2	70,4	64,7
Глюкоза (10%) + лим. к-та (1%)	81,6	69,8	76,5
Сорбінова кислота (1%) + бензойна кислота (1%)	62,8	60,5	58,4
Контроль (без кріопротектора)	31,0	33,6	22,4

³⁰ Сімахіна Г.О. Консервування плодово-ягідної сировини з використанням низьких температур та методів кріопротекції. *Вісник Львівського університету торгівлі та економіки. Технічні науки.* 2023. №35. С. 31.

За даними таблиці 3, позитивний вплив кріопротекторів виявлено для всіх об'єктів: ступінь збереження вітаміну С у плодах і ягодах, заморожених даним способом і дефростованих після 12 місяців зберігання, перевищує у всіх без винятку дослідах аналогічний показник для сировини, замороженої без попереднього оброблення кріопротекторами. І хоча механізми дії кріопротекторів складні й досі не повністю розкриті (а в технологіях харчових продуктів їх лише почали вивчати), можна констатувати, що з їхньою допомогою реально звести до мінімуму результати ушкоджуючої дії низьких температур при заморожуванні плодів та ягід і подальшій їх дефростації, про що свідчать дані вмісту вітаміну С.

Для практичного застосування отриманих результатів ми розробили рейтингову шкалу досліджених кріопротекторів і класифікували їх на категорії за ступенем збереження вітаміну С (у процентному співвідношенні до його вмісту у сировині) і за зовнішнім виглядом дефростованих напівфабрикатів із умовною назвою «ефект кріозахисту»:

- I категорія – ефект кріозахисту 80% і вище;
- II категорія – ефект кріозахисту 70...79%;
- III категорія – ефект кріозахисту 60...69%;
- IV категорія – ефект кріозахисту 40...59%.

Сполуки, ефект кріозахисту яких становить менше 40%, не рекомендуємо до використання в якості кріопротекторів.

Розподіл досліджених кріопротекторів за категоріями ефекту кріозахисту, відповідно до розробленої рейтингової шкали, має такий вигляд (таблиця 4).

Таблиця 4

Ранжування досліджених кріопротекторів за ефектом кріозахисту ягід і плодів при заморожуванні

Використаний кріопротектор	Дефростовані плоди і ягоди		
	вишні	чорна смородина	малина
MgCl ₂ (15%)	70-79%	70-79%	60-69%
Сахароза (10%)	70-79%	70-79%	60-69%
Фруктоза (10%)	60-69%	60-69%	40-59%
Глюкоза (10%)	70-79%	60-69%	40-59%
Сахароза (10%) + лим. к-та (1%)	80% і вище	80% і вище	70-79%
Фруктоза (10%) + лим. к-та (1%)	70-79%	70-79%	60-69%
Глюкоза (10%) + лим. к-та (1%)	80% і вище	70-79%	70-79%
Сорбінова кислота (1%) + бензойна кислота (1%)	60-69%	60-69%	40-59%
Контроль (без кріопротектора)	–	–	–

Дані таблиць 3 і 4 свідчать, що захисний ефект кріопротекторів спрацьовує не лише на етапі заморожування, а й у процесі тривалого зберігання напівфабрикатів і їх дефростації. Найбільш ефективними виявилися комбіновані кріопротектори *сахароза + лимонна кислота* та *глюкоза + лимонна кислота*, ефект кріозахисту яких переважає 80 %. Наступним за ефективністю йде комбінований протектор *фруктоза + лимонна кислота* з ефектом кріозахисту 64...74 %. Такий же ефект виявили монокріопротектори *сахароза* та *хлористий магній*.

Якість харчової продукції є однією з найскладніших і багатопланових категорій як для конкретного споживача, так і для підприємства-виробника, і в цьому випадку йдеться також про один із найважливіших чинників його конкурентоспроможності. Тому забезпечення відповідної якості контролю охоплює комплекс завдань, які необхідно вирішувати впродовж усього циклу створення харчової продукції на кожному етапі її виробництва, зокрема при використанні ресурсоефективних технологій³¹.

Згідно з основними положеннями Держстандарту України, контроль якості продукції – це перевірка відповідності показників якості встановленим вимогам до них у технічній та іншій нормативній документації. Важливим є також попередження виникнення дефектних виробів: для технологій швидкозаморожених рослинних напівфабрикатів така загроза стає істотною на завершальному етапі при дефростації продукції. Цілком очевидно, що контроль якості харчової продукції орієнтовано передусім на досягнення її безпечності для споживачів.

На сучасних харчових підприємствах зазначені умови досягаються здебільшого на основі впровадження системи НАССР, у ході реалізації якої враховується аналіз усіх категорій потенційних ризиків – біологічних, хімічних, фізичних – та здійснюються відповідні корегувальні дії.

Аналіз літературних даних і результати власних досліджень свідчать про те, що для рослинних матеріалів ресурсоефективної технології швидкого заморожування найбільш небезпечним є біологічний складник, зумовлений невідповідністю сировини вимогам щодо мікробіологічної чистоти і пов'язаний із умовами її вирощування, зберігання, транспортування, особливостями біохімічного складу, технологічними параметрами дефростації тощо. Тому метою даної роботи є ідентифікація біологічних небезпечних чинників та результати визначення можливих ризиків при отриманні швидкозаморожених плодовоовочевих напівфабрикатів на усіх етапах їх виробництва, починаючи від вибору сировини до її дефростації та реалізації.

³¹ Сімахіна Г.О., Кочубей-Литвиненко О.В. Комбінована ресурсоефективна технологія заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*. 2023. Т. 29, №5. С. 147.

У таблиці 5 наведено результати оцінки мікробіологічної чистоти сировини ягідної (ожини) та овочевої (капуста броколі) у свіжому вигляді та безпосередньо після заморожування.

Таблиця 5

Рівень мікробіологічної чистоти ягід після заморожування

Показник	Гігієнічний норматив	Ягоди ожини		Броколі	
		Свіжі	Заморожені	Свіжа	Заморожена
МАФАНМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено

Джерело: авторська розробка³².

Передусім слід зазначити, що патогенних мікроорганізмів, у тому числі бактерій роду *Salmonella* (у 25 г), ні у свіжих зразках, ні у заморожених напівфабрикатах не виявлено.

Відповідно до наведених результатів, у досліджуваних об'єктах відсутні також бактерії групи кишкових паличок (коліформи). Дріжджі виявлено лише у зразку свіжої броколі, однак їхня кількість у 20 разів менша від гігієнічного нормативу. Кількість МАФАНМ у броколі ($4,3 \cdot 10^2$) вища, ніж в ожині ($2,9 \cdot 10^2$). Завдяки заморожуванню кількість МАФАНМ для ягід ожини зменшується на 27,6%, а для броколі – на 34,9%. Плісняві гриби у невеликих кількостях виявлено лише у свіжих ягодах.

Загалом унаслідок заморожування зразків кількість мікроорганізмів зменшується на 28...56%, що узгоджується з результатами досліджень інших авторів³³. Це при тому, що заморожування ми вели методом швидкого зниження температури, при якій утворений дрібнокристалічний лід незначно руйнує плазматичні мембрани та клітинні оболонки як об'єктів заморожування, так і мікроорганізмів.

Оперативні знання з передбачення можливості виникнення небезпечних мікробіологічних чинників на етапах виробництва заморожених

³² Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Оцінка мікробіологічної чистоти заморожених і дефростованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т.23, №6. С. 123.

³³ Белінська, С. В., Левицька, С. О., Каменева, Н. В. та ін. Особливості кристалоутворення під час заморожування капусти броколі. *Харчова наука і технологія*. 2018. Т. 12, №3. С. 25.

плодоовочевих напівфабрикатів дозволяють розробити корегувальні дії для створення належних умов отримання безпечної продукції відповідно до принципів НАССР.

Врахування наведених у даній роботі результатів забезпечує в умовах підприємства: отримання якісної продукції і, відповідно, довіри споживачів до неї, що підвищуватиме рентабельність виробництва; дотримання належних гігієнічних та санітарних умов ведення технологічного процесу заморожування відповідно до міжнародних норм; підвищення відповідальності колективу за безпеку виробленої продукції на підприємстві, що веде до зростання його іміджу.

3. Модель організації інноваційного підприємства з виробництва швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів

Істотну роль у дослідженні інноваційного процесу виробництва заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів відіграють питання створення послідовності технологічних, організаційних та економічних етапів, які в деяких літературних джерелах носять назву «моделювання інноваційного процесу». Ми назвали їх «ресурсними складовими»³⁴, і кожна із них відбиває особливості дії основних чинників впливу на організацію виробництва та контроль цільової продукції. Оцінка складників спрямована на підтвердження реальної можливості організувати інноваційне підприємство з отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів, яке і застосовує нововведення, і орієнтоване на подальше вдосконалення, готове приймати ефективні рішення з подолання бар'єрів та ризиків.

Такий підхід значною мірою здатний ліквідувати розрив між очікуваними результатами діяльності підприємства та фактичними.

Результат інноваційного процесу у науковій літературі розглянуто за трьома рівнями:

- торгівля і обіг об'єктів інтелектуальної власності;
- виробництво і продаж інноваційних товарів і послуг;
- виробництво і продаж інноваційних підприємств³⁵.

Виходячи із завдань, які стоять перед індустрією здорового харчування в Україні, логічним є орієнтація діяльності інноваційного підприємства саме на виробництво та реалізацію швидкозаморожених плодово-ягідних

³⁴ Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Литвинець Л.Ф. Характеристика ресурсних складових інноваційного підприємства з виробництва заморожених плодів і ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, №1. С. 128.

³⁵ Федулова І.В., Кундеева Г.О. Інноваційний потенціал підприємства. Київ: МВЦ «Медікформ». 2010. С. 148.

напівфабрикатів, призначених для подолання дефіциту основних біокомпонентів у раціонах харчування населення в міжсезонний період відсутності свіжої сировини.

Організація інноваційного харчового підприємства з виробництва швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів розпочинається з двох ресурсних складових: інноваційного потенціалу та інноваційного клімату³⁶.

Інноваційний потенціал забезпечує створення і розвиток інноваційної діяльності підприємства з виробництва замороженої плодово-ягідної продукції завдяки висококваліфікованим співробітникам, які однаковою мірою знаються на технологіях оздоровчих продуктів, резервних можливостях сільськогосподарської сировини та значенні харчових продуктів для здоров'я людини. Важливе значення мають економічні та технологічні можливості підприємства, наявність інформаційних та нормативно-правових баз для впровадження інновації, в даному випадку – технологій заморожування з використанням кріопротекторів. Впровадження цієї технології планується на сучасних підприємствах, обладнаних камерами з технологічними лініями для швидкого заморожування, з мінімальними доповненнями. Економічні можливості підприємства орієнтовані на розширення асортименту швидкозамороженої продукції.

Сприятливий **інноваційний клімат** на підприємстві забезпечується попередженням можливих ризиків (поява нових конкурентів, розвиток нових технологій, зменшення ринків збуту, втрата фінансової спроможності тощо) при виробництві та реалізації плодово-ягідних заморожених напівфабрикатів. У таблиці 6 наведено можливі ризики і засоби їх попередження.

Таблиця 6

Оцінка ризиків інноваційного клімату на підприємстві та засоби їх попередження

Вид ризику	Засоби попередження
Ринок сировини	Плодово-ягідна сировина досить розповсюджена на території України з можливістю вибору сортів і видів, найбільш придатних для заморожування
Ринок технологій	Технологія отримання швидкозаморожених плодів і ягід реалізується на існуючих технологічних лініях, обладнаних камерами для швидкого заморожування, і потребує лише дообладнання установкою для оброблення сировини розчинами кріопротекторів

³⁶ Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Литвинець Л.Ф. Значч. праця. С. 127.

Продовження таблиці 6

Ринок праці	Фахівці, які працюють на консервних підприємствах, потребують мінімальної перекваліфікації щодо інновацій у технології заморожування плодів і ягід з використанням кріопротекції
Ринок збуту	Отримані за вдосконаленою технологією заморожені плоди і ягоди відзначаються високими споживчими та якісними показниками, належними органолептичними характеристиками, що задовольнятиме харчові та смакові уподобання споживачів. Такої продукції на ринку України поки що дуже мало, тому вона матиме належний попит. Більш того, торговельні мережі, підвищуючи асортиментний потенціал, створять міжрегіональні засоби розповсюдження даної продукції
Ринок фінансів	Запропоноване інноваційне підприємство передбачає ріст прибутковості за рахунок постійного розширення виробництва заморожених плодів та ягід; збільшення ринку збуту продукції, оскільки певний час вона буде єдиною в сегменті заморожених напівфабрикатів, отриманих з використанням методів кріопротекції

Джерело: авторська розробка³⁷.

Розроблення і виробництво високоякісних плодово-ягідних напівфабрикатів. Ця ресурсна складова характеризує особливості заморожених плодів і ягід, отриманих під прикриттям кріопротекторів³⁸.

Іміджмейкінг. Створенню належного іміджу підприємства сприяє передусім якість замороженої продукції, її абсолютна безпека для споживачів, високі смакові показники та доведена ефективність у нормалізації функціонування систем організму людини. Значну роль відіграє поширення цієї інформації через бренд, який буде запатентований та зрозумілий для споживачів. Цей захід має зацікавити не лише споживачів продукції, а й висококваліфікованих фахівців, постачальників та реалізаторів з точки зору участі у реалізації даного проекту.

Організація сервісу. Планується здійснювати продажі заморожених напівфабрикатів у фірмових магазинах великих міст, в роздрібній мережі на периферії шляхом забезпечення транспортного постачання до малонаселених регіонів, та постійного поширення інформації щодо корисності даної продукції. Планується розміщення реклами на автотранспорті та в торговельних мережах. Важливим чинником організації сервісу є доступна інформація про якісний склад плодів і ягід, вплив їхніх основних компонентів на поліпшення стану здоров'я людини,

³⁷ Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Литвинець Л.Ф. Зазнач. праця. С. 129.

³⁸ Сімахіна Г.О., Халасіна С.В. Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т.23, №3. С 183.

оцінку заморожених напівфабрикатів як єдиного джерела вітамінів у міжсезонний період за відсутності свіжої сировини.

Ціноутворення. Позиціонуючи заморожені плодово-ягідні напівфабрикати на ринку, ми зазначаємо, що за вартістю дана продукція неістотно буде відрізнитись від традиційної, оскільки для кріопротекції взято дешеві природні сполуки (глюкоза, фруктоза, сахароза, гліцерин тощо), які забезпечують високий ефект кріозахисту клітин і тканин біооб'єктів як при заморожуванні, так і впродовж тривалого зберігання та дефростації. Використана в технології сировина широко розповсюджена на території України, недорога, високоврожайна, що також зумовлює низьку вартість продукту, доступного для пересічного споживача.

Маркетингові дослідження. Має бути створено розгалужену мережу маркетингової служби, яка забезпечить детальне вивчення каналів збуту продукції, оцінку її конкурентоспроможності як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, а також місце даного інноваційного підприємства серед аналогічних.

Мерчендайзинг. Ця ресурсна складова передбачає створення команди фахівців, здатних організувати оптимальне розташування продукції в торговельних мережах та підвищувати її збут. Велике значення має також компактна, яскрава упаковка з детальною інформацією про позитивні якості заморожених плодів і ягід, отриманих з використанням методів кріопротекції.

Стимулювання збуту продукції. Планується проводити інформаційні заходи, презентації, тренінги з обов'язковим обґрунтуванням доцільності і необхідності вживання заморожених плодів і ягід за відсутності свіжої сировини всіма віковими категоріями, а також періодично проводити різного роду акції та знижки на продукцію для зацікавлених споживачів³⁹.

Дуже важливим є добір продавців нової продукції, грамотних і компетентних. Вони зобов'язані знати всі якісні та кількісні характеристики продукту, технологію його виробництва, відмінність від усіх відомих раніше продуктів і його переваги; наявність основних біокомпонентів плодів і ягід (вітамінів, мінеральних елементів тощо); обов'язково уміти дати пораду з правил споживання такої продукції, умов її зберігання, можливі протипоказання.

Продавці мають бути комунікабельними, володіти грамотною мовою, необхідною термінологією; уміти представити якнайкраще заморожену плодово-ягідну продукцію, щоб покупець повірив у її оздоровчі властивості.

³⁹ Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Литвинець Л.Ф. Значч. праця. С. 130.

Контроль сировини та продукції. Безпека продукції забезпечується управлінням її виробництва на всіх етапах життєвого циклу з застосуванням принципів НАССР, оцінкою механічних, хімічних, мікробіологічних ризиків та розробленням способів їх попередження.

Моніторинг інноваційної діяльності. Ця складова є обов'язковою для забезпечення діяльності і розвитку підприємства. Вона полягає у зборі інформації про виробництво та реалізацію замороженої продукції; збір, оброблення, аналіз стану інноваційних процесів на даному підприємстві та аналогічних виробництвах; оброблення результатів фінансової та технологічної діяльності для прогнозування подальшого розвитку підприємства.

Оцінка конкурентного потенціалу продукції. Вона полягає у порівнянні основних властивостей плодів і ягід, заморожених за розробленою нами вдосконаленою технологією, з продукцією, отриманою за традиційними технологіями. Також буде оцінено якість продукції та її упаковку з урахуванням думки споживачів.

Оцінка економічної та соціальної ефективності заморожених за вдосконаленою технологією плодів та ягід. Економічна ефективність оцінюється результатами фінансових звітів торговельних мереж, підрозділів та власне підприємства за певні періоди діяльності, що дає можливість оцінити рентабельність виробництва. Соціальна ефективність полягає у поліпшенні стану здоров'я споживачів, подоланні вітамінного дефіциту, запобіганні мікроелементозам, що загалом сприятиме оздоровленню української нації та вирішенню проблем продовольчої безпеки.

Кінцевим результатом усього процесу діяльності інноваційного харчового підприємства, в тому числі з виробництва заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів, є технологічно новий або технологічно вдосконалений продукт, що характеризується необхідною сукупністю основних показників якості та безпеки: енергетичною та харчовою цінністю, що визначається якісним і кількісним співвідношенням нутрієнтів у складі плодів та ягід; їх адекватними кількостями; харчовою безпекою (хімічною, мікробіологічною, збалансованим складом нутрієнтів)⁴⁰.

ВИСНОВКИ

На підставі встановленого позитивного ефекту поєднання штучного холоду та методі кріопротекції при консервуванні рослинної сировини, дослідження їхнього впливу на фізико-хімічні, технологічні, мікробіологічні

⁴⁰ Сімахіна Г.О. Оздоровчі харчові продукти – основний об'єкт інновацій. *Modern directions of scientific research development: 14th International scientific and practical conference*, July 13-15, 2022. Chicago: BoScience Publisher, 2022. P. 158.

показники плодів і ягід удосконалено технологію швидкозаморожених напівфабрикатів з попереднім обробленням сировини водними розчинами кріопротекторів. Їх використання запобігає механічним ушкодженням тканин, зменшує втрати клітинного соку при дефростації, забезпечує належні якісні та органолептичні показники.

Головним механізмом захисної дії кріопротекторів є їхня здатність впливати на процеси кристалізації, сприяючи формуванню дрібнокристалічного льоду, котрому не властиві сильні поля напруги; зменшувати кількість вимороженої води, знижувати температуру її кристалізації, зменшувати вологовіддачу. Комбіновані кріопротектори ефективніші, ніж моносполуки. Органолептичні властивості заморожених напівфабрикатів оцінено на максимальні 5 балів.

Сектор ринку замороженої рослинної сировини представлений в основному овочевими напівфабрикатами, а плодів та ягід – зростає менш інтенсивно, зважаючи на відсутність науково обґрунтованих технологій їх консервування. Розроблена модель організації інноваційного підприємства з виробництва швидкозаморожених напівфабрикатів з використанням методів кріопротекції може служити алгоритмом отримання широкого спектру оздоровчих продуктів для наповнення вітчизняного ринку і створення експортоорієнтованої продукції, яка відзначатиметься високою якістю, відповідністю світовому трендові здорового харчування, забезпеченням потреб ресторанного господарства.

АНОТАЦІЯ

Пошукові інноваційних рішень шляхів оптимізації низькотемпературних технологічних процесів заморожування і зберігання плодово-ягідної сировини присвячено роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних дослідників. Проте багато питань ще потребують вирішення. Особливо це стосується використання ефективних кріопротекторів для мінімізації ушкоджуючої дії низьких температур на структуру біологічних об'єктів.

Сьогодні сектор ринку замороженої рослинної сировини представлений в основному овочевими напівфабрикатами, хоча саме плодово-ягідна продукція відзначається високими концентраціями вітамінів. Разом з тим, вона є особливо складним об'єктом для заморожування, адже для неї характерні найбільші втрати клітинного соку і біологічно активних речовин у процесі дефростації. Тому удосконалення низькотемпературних технологій консервування плодово-ягідної сировини є нагальною проблемою, вирішенню якої присвячено дану роботу. Її актуальність визначається також прогнозованою можливістю знизити залежність українського ринку від імпортних заморожених напівфабрикатів та

посилити рівень продовольчої безпеки у сфері виробництва оздоровчих продуктів.

Література

1. Белінська С.В., Левицька С.О., Каменева Н.В. та ін. Особливості кристалоутворення під час заморожування капусти броколі. *Харчова наука і технологія*. 2018. Т. 12, вип 3. С. 21–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/ft.v12i3.1036>
2. Белоус А.М., Грищенко В.И. Кробиология: монографія. Киев: Наукова думка, 1994.
3. Бодров В.С., Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г. Математико-статистичні методи досліджень. Київ: НУХТ, 2007. 206 с.
4. Горобченко О.О., Шевченко Н.О., Ліпіна О.В., Ніколов О.Т., Мусатова І.Б. Діелектрична проникність здатних до вітрифікації кріозахисних середовищ. *Біофізичний вісник*. 2016. Вип. 35 (1). С. 28–33.
5. Звіт «Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010-2018)». URL: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#> (дата звернення 05.01.2026)
6. Камінська С.В., Місюра Т.Г., Сімахіна Г.О, Математична модель прогнозування вмісту аскорбінової кислоти в заморожених ягодах. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, №4. С. 207–215. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-4-23>
7. Козярін І.П. Дієтопрофілактика в умовах радіоактивного забруднення довкілля. *Фітотерапія в Україні*. 2009. Вип. 3-4. С. 49–52.
8. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В. Нове в технології отримання заморожених ягід та пюре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства*. 2013. Т. 1, вип. 1. С. 3–9.
9. Сімахіна Г.О. Консервування плодово-ягідної сировини з використанням низьких температур та методів кріопротекції. *Вісник Львівського університету торгівлі та економіки*. Технічні науки. 2023. №35. С. 29-35.
10. Сімахіна Г.О. Кріоушкодження рослинних структур при заморожуванні і методи кріопротекції: теоретичні аспекти. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28, №5. С. 88-97. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-5-11>
11. Сімахіна, Г. О. Оздоровчі харчові продукти – основний об'єкт інновацій. *Modern directions of scientific research development: 14th International scientific and practical conference*, July 13-15, 2022. Chicago: BoScience Publisher, 2022. P. 156-163.

12. Сімахіна Г.О. Основні показники придатності плодів та ягід до заморожування. *Вчені записки Таврійського нац. ун-ту ім. В.І. Вернадського*. Т. 29, №1. С. 73–78.

13. Сімахіна Г.О. Ранжування кріопротекторів за ефективністю захисту біологічних структур від ушкоджень при низьких температурах. *Наукові праці НУХТ*. 2024. №1. С. 141–152. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-1-14>

14. Сімахіна Г.О. Удосконалення технології заморожування ягід поєднанням штучного холоду і кріопротекції. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Т. 30 (69), №4. 2019. С. 117-121. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/19>

15. Сімахіна Г.О., Грегірчак Н.М., Науменко Н.В., Камінська С.В. Вітамінна цінність та мікробіологічна безпека заморожених плодів вишні при зберіганні. *Наукові праці НУХТ*. 2024. №2. С. 154-169. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-2-14>

16. Сімахіна Г.О., Камінська С.В. Контроль мікробіологічної безпеки продукції ресурсоефективних низькотемпературних технологій. *Наукові праці НУХТ*. 2023. Т. 29, №4. С. 126–136. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-4-12>

17. Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Литвинець Л.Ф. Характеристика ресурсних складових інноваційного підприємства з виробництва заморожених плодів і ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, №1. С. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2020-26-1-16>

18. Сімахіна Г.О., Кочубей-Литвиненко О.В. Комбінована ресурсоефективна технологія заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*. 2023. Т. 29, №5. С. 143–156. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2023-29-5-14>

19. Сімахіна Г.О., Кочубей-Литвиненко О.В., Науменко Н.В., Камінська С.В. Кріоушкодження та кріозахист у холододових технологіях: монографія. Київ: Видавництво «Сталь», 2022. 315 с.

20. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Здобутки і перспективи впровадження інновацій у харчовій промисловості України. *Грааль Науки*. 2021. Вип. 5. С. 109-115. DOI 10.36074/grail-of-science.04.06.2021.021

21. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В., Камінська С.В. Особливості харчування в екстремальних умовах життєдіяльності. *Grail of Science. International Scientific Journal*. 2021. Вип. 11. С. 141–146. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.026>

22. Сімахіна Г.О., Халасіна С.В. Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т.23, №3. С 179–185.

23. Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Оцінка мікробіологічної чистоти заморожених і дефростованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т.23, №6. С 119–126.
24. Федулова І.В., Кундєєва Г.О. Інноваційний потенціал підприємства. Київ: МВЦ «Медікформ». 2010. 348 с.
25. Boutron, P., Kaufmann, A. Stability of the amorphous state in the system water-glycerol ethylene glycol. *Cryobiology*. 1989. Vol. 1. P. 83–89.
26. Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. 2018. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (access date 05.01.2024).
27. Goyal, R.K., Verma, L.R., Joshi, V.K. Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables. Indus Publishing, New Delhi, 2000. P. 337–389.
28. Noormets, M., Karp, K., Starast, M., Leis, L., Muru, K. The influence of freezing on the content of ascorbic acid in *Vaccinium* species berries. *Acta Hort*. 2006. Vol. 715. P. 539–544. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.715.83
29. Poiana, M., Moigradean, D., Raba, D., Alda, L.-M., Popa, M. The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol. 8, issue 1. P. 54–58.
30. Rickman, J.C., Barrett, D.M., Bruhn, C.M. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Sci Food Agric*. 2007. Vol. 87. P. 930–944.
31. Sandell, M., Laaksonen, O., Lunden, S. Flavour properties and chemistry of berries. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/286026759_Flavour_properties_and_chemistry_of_berries (access date 15.01.2024)
32. Schumpeter, J. Theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1934.
33. Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-Zhezherun, S., Kaminska, S. Impact of Cryoprotection on Minimization of Ascorbic Acid Losses in Freezing of Berries. *Ukrainian Food Journal*. 2019. Vol. 8, issue 2. P. 271–283. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-2-7
34. Singh R.P., Mannapperuma J.D. Development in Food Freezing. In: *Biotechnology and Food Process Engineering*. H.G. Schwartzberg, M.A. Rao (eds). New York: Marcel Dekker, 1990.
35. Wagner, C.T., Martowicz, M.L., Livesey, S.A., Connor, J. Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*. 2012. Vol 45, issue 2. P. 153–166. DOI: 10.1006/cryo.2000.2279

Information about the author:

Simakhina Galyna Oleksandrivna,

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Technology of Healthy Food Products,

National University of Food Technologies,

68, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

08

SECTION



ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ТИПОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОГЛЯДОВИХ МАЙДАНЧИКІВ ЯК ОСЕРЕДКІВ СОЦІОКУЛЬТУРНОГО ПРОСТОРУ АЕРОПОРТІВ

Агєєва Г. М.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-19>

ВСТУП

Комплексне планування територій із урахуванням соціальних, економічних та екологічних факторів грає одну з ключових ролей у досягненні сталого розвитку суспільства.

Введення режиму воєнного стану для забезпечення національної безпеки, усунення загрози небезпеки державній незалежності України, її територіальній цілісності не призупиняє процесів подальшої інтеграції Цілії Сталого Розвитку у національну політику країни^{1, 2}.

Разом з тим, важкі наслідки військового урбіциду 2022–2026 років:

- загострюють проблеми післявоєнної відбудови та відновлення країни³, захисту об'єктів критичної інфраструктури, зокрема авіаційного транспорту^{4, 5};
- потребують пошуку та застосування новітніх підходів урбаністики і архітектури для реалізації концепцій сталого розвитку, Національної транспортної стратегії, державних програм розвитку регіонів, промисловості, підприємств⁶, тощо.

¹ United Nations (UN). Resolution adopted by the General Assembly. 42/187. Report of the World Commission on Environment and Development. 11 December 1987. *UN Documents* : website. URL: <http://www.un-documents.net/a42-427.htm>. (Accessed : 12 January 2026).

² Харчук О.О. Сталій розвиток: економічний, екологічний і соціальний аспект. *Україна у глобальному світі* : монографія. Рига, 2020. С. 209–225.

³ Кіс Н. Ю., Тютюнникова Г. С., Несух М. М., Субота А. В. Проблеми інтеграції Концепції сталого розвитку в проекти просторового планування в Україні (частина 1). *Просторовий розвиток*. 2025. № 11. С. 383–396. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.383-396>

⁴ Кузнік А. Засади державної політики захисту об'єктів критичної інфраструктури в авіаційній галузі. *Академічні візії*. 2024. № 38. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1760>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15120105>

⁵ Проектування та будівництво аеродромних комплексів: монографія / Г. М. Агєєва, Л. Г. Гуртіна, О. М. Дубик та ін.; за заг. ред. В. В. Карпова. Херсон: Олді+, 2022. 336 с.

⁶ Про схвалення Концепції розвитку міжнародного аеропорту «Бориспіль» на період до 2045 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 травня 2019 року № 293-р / Кабінет Міністрів України. *Урядовий кур'єр*. 2019. № 90.

У загальному випадку, повинні бути визначені:

- шляхи містобудівного освоєння (урбанізації) територій, зокрема наближених до аеропортів;
- принципи утворення безпечних поселень, у яких усуненні соціальні бар'єри;
- принципи забезпечення загального доступу до дорожньо-транспортної інфраструктури; безпечних, доступних і відкритих для всіх зелених зон та громадських місць, особливо для жінок і дітей, літніх людей та інвалідів⁷.

Урбанізація територій у зоні впливу аеропортів сприяє їх сталому розвитку⁸. З іншого боку, наближеність до об'єктів критичної інфраструктури може бути загрозою для життя і здоров'я людей, безпеці та розвитку таких територій⁹.

Разом з тим, аеропорти мають значні територіально-рекреаційні, архітектурні та культурологічні ресурси, що створює передумови для включення їх до царини туристичних дестинацій країни^{10 11 12}.

У контексті сталого розвитку, аеропорти розробляють відповідні стратегії, спрямовані на розв'язання завдань політичного, економічного, експлуатаційного, екологічного та соціального спрямування. Серед останніх:

- максимальний доступ до загальної авіаційної транспортної системи, окремих місць призначення;
- удосконалення та розвинення інфраструктури авіаційного транспорту¹³;
- поширення спектру послуг неавіаційного спрямування;
- створення нових робочих місць;

⁷ United Nations (UN). The Sustainable Development Goals. *United Nations (UN)*: website. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment> (Accessed : 12 January 2026).

⁸ International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9562. *Airport Economics Manual*. 3rd edn. Montreal, Quebec, Canada, 2013. 152 p.

⁹ Кузнік А. Засади державної політики захисту об'єктів критичної інфраструктури в авіаційній галузі. *Академічні візії*. 2024. № 38. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1760>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15120105>

¹⁰ Адамівський О. М., Кулаєв Я. М. Дослідження сутності туристичної дестинації та методів її розвитку. *Економічний простір*. 2025. Вип. 197. С. 262–269. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.262-269>

¹¹ Дружиніна В. В. Вектори розвитку авіаційної інфраструктури в контексті активізації туризму. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Економіка і управління. 2019. Т. 30(69). № 1. С. 1–6.

¹² Pijet-Migo'n E. *Aviation Heritage in the Urban Landscape – Concept and Examples from Berlin*. *Heritage*. 2025. Vol. 8. P. 225. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage8060225>

¹³ Maksymiuk Yu.V., Chulinda L.I., Korchova H.L., Pochka K.I. Priority directions of international airport infrastructure development. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Kyiv: KNUBA, 2022. Issue 109. Pp. 301-316. DOI: [DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.301-316](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.301-316)

– забезпечення доступності аеропорту та його складників, зокрема для візуального спостереження, тощо^{14 15 16 17 18}.

Це потребує та супроводжується впровадженням комплексу заходів із приведення рівня надання послуг в аеропортах у відповідність до вимог міжнародних стандартів^{19 20}, серед яких:

- реорганізація забудови території аеропортів, передовсім привокзальних площ (далі – ПП), транспортно-пішохідних зв'язків;
- будівництво нових, модернізація та реконструкція існуючих будівель та споруд;
- використання туристично-рекреаційних ресурсів аеропортів та зон їх впливу²¹, тощо.

Практика оновлення Додатків до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію; впровадження інноваційних підходів до забезпечення безпеки міжнародної цивільної авіації²²; формування та реалізація ефективних бізнес моделей розвитку аеропортів та урбанізації зон їх впливу^{23 24}.

- свідчать про зростання ролі авіаційного транспорту в світовій економіці;
- посилюють вплив на економічний розвиток регіонів та зайнятість населення, тощо.

¹⁴ Ложачевська О. М., Паламарчук Ю. А. Формування стратегії економічного розвитку пасажирського терміналу аеропорту : монографія. Київ: Кондор, 2009. 240 с.

¹⁵ Павелко В. Ю. Розвиток неавіаційної діяльності аеропортів України. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 17. С. 397–399.

¹⁶ Bosma J. E., Nikolaeva A. A. The airport: Prototype of the global city? In: Berkers M., Linders J., editors, *Megastructure Schiphol. Design in spectacular simplicity*. Rotterdam: NAI010 Publishers. 2013. Pp. 199–217.

¹⁷ Guller M., Guller M. *Del aeropuerto a la ciudad aeropuerto*. Barcelona : Editorial GG, SLU, 2003. 192 p.

¹⁸ Stangel M. *Airport city – an urban design question*. Gliwice, Poland : Helion Publishing House, 2019. 209 p.

¹⁹ International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9184-AN/902. *Airport planning manual*. Part 1. Master planning. Ed. 5. Montreal, Quebec, Canada, 2009.

²⁰ International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9562. *Airport Economics Manual*. 3rd edn. Montreal, Quebec, Canada, 2013. 152 p.

²¹ Агеєва Г. М. Туристичний потенціал аеропортів та територій, наближених до них. *Роль та значення індустрії туризму й гостинності у розвитку територій, громад, держави* : монографія. Львів : ЛІТЕУ, 2022. С. 249–263. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6470739>

²² Chulinda L., Smirnov O., Shapenko L., Ustynova I., Bohatiuk I., Kelyp S. The role of innovation in ensuring the safety of international civil aviation. CH&CMiGIN'25: Fourth International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks, Kyiv, June 20–22, 2025. Kyiv: KAI, 2025. Vol. 4024. Pp. 530–542.

²³ International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9562. *Airport Economics Manual*. 3rd edn. Montreal, Quebec, Canada, 2013. 152 p.

²⁴ Medvedev A., Lomar I., Augustyn S. Innovation in airport design. *Aviation*. 2017. Vol. 21(1). Pp. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.3846/16487788.2017.1303542>

За оцінкою спеціалістів, така трансформація та модернізація складника критичної інфраструктури дозволяє не тільки розширити спектр додаткових послуг до 200–250 видів²⁵, але й сприяє розв'язанню проблем гармонійного розвитку суспільства.

Приділяється увага й розвитку в жорстких рамках забезпечення безпеки польотів подієвого туризму, якій сприяє популяризації авіації^{26 27}.

1. Оглядові майданчики як складники осередків соціокультурного простору аеропортів

Серед шляхів усунення соціальних бар'єрів та забезпечення загального доступу до територій громадської забудови, виробничого, комунального, рекреаційного та оздоровчого призначення; систем соціальної, транспортної, інженерної інфраструктури; зон охорони нерухомих об'єктів культурної спадщини, пам'яток природи, архітектури, містобудування, цінних ландшафтів можна виділити влаштування ОМ (далі – ОМ) та окреслити особливості їх експлуатації в аеропортах світу²⁸.

На початковому етапі розвитку авіації саме ОМ:

- були невід'ємною частиною більшості аеродромів, де проводились показові польоти та авіа-шоу;
- сприймалися як осередки соціокультурного простору для прихильників – представників різних соціальних класів та верств населення.

З часом ОМ могли втратити свої функції, або набути нових – вже у складі інших за призначенням будівель та споруд, зокрема аеровокзальних комплексів (далі – АВК).

Це є результатом зміни стратегій планування діяльності аеропортів з метою перетворення їх частини на соціокультурний простір, привабливий для потенційних користувачів²⁹.

²⁵ Павелко В. Ю. Розвиток неавіаційної діяльності аеропортів України. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 17. С. 397–399.

²⁶ Щука Г. П., Ковальська, Л. В., Безрученков Ю. В. Подієвий туризм: уточнення базових характеристик. *Індустрія туризму і гостинності в Центральній та Східній Європі*. 2022. Вип. 7. С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.32782/tourismhospceec-7-8>

²⁷ Дружиніна В. В. Вектори розвитку авіаційної інфраструктури в контексті активізації туризму. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Економіка і управління. 2019. Т. 30(69). №1. С. 1–6.

²⁸ Agieieva G. Visitors' Terraces as Components of the Urban Environment of Airports. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds). *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations*. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering Springer, Cham. 2023. Vol. 299. Pp. 393–409. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_31

²⁹ Agieieva G., Nickolchuk B. Airports as art-space. *AVIA-2019: Proceedings of the XIV International Scientific Conference*, Kyiv, April 23–25, 2019. Kyiv: NAU, 2019. Pp. 21.13–21.17. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7848199>

Запорукою створення такого простору є:

- формування у структурі аеропортів осередків, генеруючих можливості ідентифікації їх як складників туристичних дестинацій³⁰;
- надання освітніх, пізнавальних та розважальних послуг;
- отримання позитивних вражень від відвідування;
- вирішення економічних питань на тлі основних виробничих процесів³¹.

Виключенням є складники аеродромного комплексу, контрольовані зони якого пов'язані з забезпеченням безпеки польотів. Разом з тим, саме аеродром є найбільш привабливими для візуального спостереження:

- як головна технологічна частина – спеціально обладнана земельна ділянка;
- як багатофункціональний комплекс промислово-транспортного спрямування, що має значний територіальний потенціал (величезні площі, цікаві краєвиди, нескладний рельєф внаслідок специфіки технологічних процесів)³².

До переваг аеропортів також слід віднести можливість:

- влаштування ОМ, вдало розташованих стосовно цікавих краєвидів, зон основних та допоміжних технологічних операцій, тощо;
- спостереження у динаміці руху за наземним (під'їзні шляхи, транспортні розв'язки, ПП) та авіаційним транспортом (на етапах вильоту та посадки ПС).

Особливої уваги потребує новий вид захоплень – плейн-спотинг (авіаційний спотинг), який має своїх прихильників – плейн-спотерів (професійних фотографів та аматорів)³³.

Аеропорти зацікавлені у виключенні стихійності проведення подієвих тзходів та перетворенні плейн-спотингів на офіційні заходи, перш за все:

- із забезпеченням безпеки функціонування аеропорту та перебування людей й техніки на контрольованих територіях;
- із визначенням часу, тривалості, складу та чисельності учасників;

³⁰ Адамовський О. М., Кулаєв Я. М. Дослідження сутності туристичної дестинації та методів її розвитку. *Економічний простір*. 2025. Вип. 197. С. 262–269. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.262-269>

³¹ Венгер В. В., Романовська Н. І. Моделювання ринку аеропортових послуг у системі забезпечення глобальної конкурентоспроможності. *Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців. Серія: економіка, управління, безпека, технології*. 2023. Том 1. № 1. URL: <https://man.org.ua/nv/index.php/about/article/view/41/39>. DOI: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2023-2-1-2> (дата звернення: 20.01.2026)

³² Проектування та будівництво аеродромних комплексів: монографія / Г. М. Агєєва, Л. Г. Гуртіна, О. М. Дубик та ін.; за заг. ред. В. В. Карпова. Херсон: Олді+, 2022. 336 с.

³³ Спотерський рух: загрози і захоплення. *Вороньківська територіальна громада* : веб-сайт. URL: <https://voronkivska-sr.gov.ua/news/206907-spoterskii-rux-zagrozi-i-zaxoplennia> (дата звернення: 20.01.2026).

– із фіксованим розміщенням ОМ на спеціально відведених ділянках – спотинг-зонах³⁴, тощо.

За **значущістю та взаємозв'язком** складники системи подієвих заходів, об'єктів та процесів для огляду можуть бути структуровані таким чином:

- 1 – показові польоти ПС (авіа шоу);
- 2 – окремі етапи злітно-посадкових операцій ПС;
- 3 – етапи наземного руху ПС та функціонування спецтехніки;
- 4 – панорами просторово-планувальної організації аеропорту з урахуванням приаеродромних територій;
- 5 – панорами просторово-планувальної організації локальних ділянок аеропорту з урахуванням / без урахування наближених територій.

Точкою відліку влаштування масштабних за розмірами ОМ слід вважати своєрідну стаціонарну відкриту трибуну місткістю до 80 тис. посадкових місць, яка:

– розташована на покритті криволінійного у плані багатофункціонального АВК довжиною 1,23 км (МА Берлін-Темпельгоф, Німеччина), побудованого в 1934 році за проектом архітектора Ернста Загебіля³⁵;

– призначена для розміщення та обслуговування чисельних відвідувачів – спостерігачів за показовими та регулярними польотами ПС на аеродромі³⁶.

2. Фактори впливу на формотворення оглядових майданчиків

При формуванні проєктних пропозицій та влаштуванні ОМ потрібно враховувати такі фактори, які обумовлюють сталий розвиток урбанізованого середовища.

Задоволення соціального запиту шляхом створення соціально значимих об'єктів, які інтегрують пізнавальні, навчальні, естетичні, специфічні функції, відпочинок та розваги, сприяють покращенню споживчої якості середовища аеропорта та підвищує його конкурентоспроможність.

Природно-кліматичні фактори, які впливають на функціональну та просторову організацію, архітектурні рішення ОМ, комфорт перебування відвідувачів. Потребують врахування такі характеристики клімату:

³⁴ Planespotting site. *Vilnius-airport* : website. URL: <https://www.vilnius-airport.lt/en/planespotting>. (Accessed : 12 January 2026).

³⁵ Flughafen Tempelhof. Vom Flugfeld zum Freiraum. Visitberlin : website. URL: <https://www.visitberlin.de/en/flughafen-tempelhof-tempelhof-airport> (Accessed : 20 January 2026).

³⁶ Zadrazilova D. Berlin Tempelhof: From Heritage Site to Creative Industry Hub? *EX NOVO Journal of Archaeology*. 2020. Vol. 5. Pp.: 79-91. DOI: <https://doi.org/10.32028/exnovo.v5i.413>

вітровий, аераційний та температурно-вологісний режими, надмірна інсоляція, кількість та інтенсивність опадів. Слід оцінювати й екологічні фактори, зокрема вплив на навколишнє середовище, екологічний баланс території, що склався.

Містобудівні фактори, що визначають оптимальні зони розташування ОМ у системі просторової організації аеропорту; доступність для потенційних користувачів, комфортність перебування, захист від несприятливих впливів авіаційного шуму, пилу, загазованості та ін.; можливість використання ОМ для композиційних рішень архітектурного середовища аеропорту.

За характером розміщення на території аеропорту ОМ можна віднести до об'єктів, які мають відповідні обмеження, пов'язані з технологічними особливостями функціонування аеропорту (безпека польотів, режими доступності та ін.).

Враховуючи категорії потенційних користувачів (пасажирів, відвідувачів) та потребу у задоволенні умов пішохідної доступності³⁷ і зручності використання³⁸, зони розташування ОМ просторово локалізуються та тяжіють до місць концентрації людських та транспортних потоків у системі АВК:

- пасажирських терміналів / вокзалів;
- ПП;
- транспортно-пересадкових вузлів (далі – ТПВ);
- об'єктів, у складі терміналів / вокзалів, ТПВ, або таких, що розміщені на ПП (паркінги, аеродромно-диспетчерські вежі (далі – АДВ) та ін.).

Конструктивно-технологічні фактори, а саме прийняті конструктивні рішення та інженерне обладнання ОМ повинні забезпечувати виконання основних функцій, розрахункові параметри архітектурно-планувальних рішень (місткість, висота розміщення та якість зорового сприйняття об'єктів спостереження), міцність, стійкість споруди, санітарно-гігієнічні та екологічні якості, доступність для маломобільних груп відвідувачів³⁹, довго тривалість, ремонтпридатність, енергоефективність та безпеку експлуатації⁴⁰.

³⁷ ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [На заміну ДБН Б.2.2-12:2018; чинні від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.

³⁸ ДСТУ ISO 21542:2025 Будинки та споруди. Доступність і зручність використання урбанізованого середовища (ISO 21542:2021, IDT). [На заміну ДСТУ Б ISO 21542:2013; чинний від 2026-02-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025.

³⁹ ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [На заміну ДБН В.2.2-17:2006; чинні від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 68 с.

⁴⁰ ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [На заміну ДБН Б.2.2-12:2018; чинні від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.

Інформаційно-естетичні фактори, які впливають:

- на якість виконання основних функцій;
- на визначення параметрів саме споруди ОМ для створення її позитивного зорового сприйняття в системі архітектурного середовища аеропорту та зон їх впливу.

Економічні фактори, що дозволяють обґрунтувати доцільність влаштування ОМ, відбір ефективних проєктних рішень та заходів з експлуатації⁴¹.

Обслуговування відвідувачів та експлуатація ОМ можуть бути віднесені до комерційних або некомерційних операцій неавіаційної діяльності аеропорту, яка у комплексі з рекламою може стати джерелом значних за обсягами додаткових прибутків⁴².

3. Типологічні особливості оглядових майданчиків

Аналіз досвіду влаштування та експлуатації ОМ у міжнародних аеропортах дозволив визначити їх типологію⁴³ за такими основними ознаками.

За функціональним призначенням: загальні; спеціалізовані (надання освітніх, пізнавальних та розважальних послуг); спеціальні (забезпечення технологічних процесів функціонування аеропортів).

За специфікою послуг, які надаються: монофункціональні, багатофункціональні.

За капітальністю: тимчасового типу (для обмеженого за часом використання); стаціонарного типу (для необмеженого за часом використання).

За рівнем доступності: відкриті (для масового користування пасажирами та відвідувачами аеропорту); закриті (орієнтовані на певну групу користувачів, робітників аеропорту тощо).

До останніх слід віднести зали очікування вільоту, віконні прорізи яких орієнтовані до перону, літовищ та мають вітринне заповнення для забезпечення якості панорамних видів. У декількох сучасних аеропортах є можливість виходу на відкриті ОМ, пов'язані з залами очікування.

За місткістю: малі; середні; великі.

За зонами розміщення у структурі просторово-планувальної організації аеропорту: в межах аеропорту; поза межами аеропорту.

⁴¹ International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9562. Airport Economics Manual. 3rd edn. Montreal, Quebec, Canada, 2013. 152 p. 1 15 20

⁴² Ложачевська О. М., Паламарчук Ю. А. Формування стратегії економічного розвитку пасажирського терміналу аеропорту : монографія. Київ: Кондор, 2009. 240 с.

⁴³ Кулевич В. В. Архітектурна типологія громадських будинків і споруд. Сучасні тенденції розвитку. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2014. Вип. 35. С. 376–384.

За висотою розміщення: на рівні поверхні землі; над поверхнею землі (відповідні поверхі, експлуатовані покрівлі будівель та споруд).

За об'ємно-планувальними параметрами: а) за доступним кутом огляду (360° або менше); б) одноповерхові; багатоповерхові; в) точкові; лінійно-протяжні; криволінійні у плані; г) прості, складні за формою; д) відкриті та криті площадки; е) зі стриманими або підвищеними архітектурними якостями; ж) тимчасові; стаціонарні (капітальні з довго тривалою експлуатацією).

На якість виконання основних функцій ОМ впливають зона та висота розміщення; лінійні розміри; місткість; доступні кути огляду; захист від атмосферних осадків, надмірної інсоляції; безпека перебування відвідувачів та експлуатації об'єкту, тощо.

На даний час можна побачити такі багатофункціональні або монофункціональні ОМ:

– які окремо розташовані у системі просторово-планувальної організації аеропортів (як-от, МА Лос-Анжелес, США) або за їх межами (МА імені Вацлава Гавела, Прага, Чехія);

– які є складниками:

а) АВК (МА Клівленд імені Гопкінса, Клівленд, Огайо, США; МА Саутенд, Саутен-он-Си, Ессекс, Великобританія; МА Ханеда, Токіо, Японія; МА Ченду-Шуанлю, Ченду, Сичуань, Китай);

б) аеродромно-диспетчерських веж (далі – АДВ) (МА Відень-Швехат, Австрія⁴⁴);

в) паркінгів та інших споруд (МА Відень-Швехат, Австрія).

Не виключенням є й аеропорти, де функціонують декілька різних за призначенням та планувальними рішеннями ОМ, побудованих у різні часи.

Доцільно навести інформацію про зони розташування ОМ у системі просторової організації МА Відень-Швехат, Австрія⁴⁵:

– термінал «Flughafen Wien», у структурі якого були передбачені два ОМ (однорівнева лінійно-протяжна прогулянкові тераса відкритого типу та чотириповерхова споруда баштового типу, 1959–1960-і роки побудови⁴⁶);

⁴⁴ Агеева Г. М. Особливості формування об'ємно-просторової структури будівель аеродромно-диспетчерських веж. *Теорія та практика дизайну*. 2025. Вип. 2 (36). С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.1>

⁴⁵ Agieieva G. Visitors' Terraces as Components of the Urban Environment of Airports. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds). *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations*. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering Springer, Cham. 2023. Vol. 299. Pp. 393–409. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_31

⁴⁶ Lenotti W. More than just a place to land. History, function and future of the Vienna Airport. Vienna: Compress Verlag, 1988. 198 p.

– об’єкт спеціального призначення – будівля АДВ заввишки 109 м, побудована в 2007 році на привокзальній площі (далі – ПП) та наділена низкою додаткових функцій рекламно-комерційного та соціального характеру;

- термінал «Skylink», 2012 рік;
- покрівля паркінгу, 2010-і роки, тощо.

Практика формування системи ОМ у МА імені Вацлава Гавела, Прага, Чехія інша:

- два ОМ у складі АВК (один – загального доступу, Термінал 2; один – обмеженого доступу, ресторан Runway, зона відльоту);
- три ОМ поза межами аеропорту (два – поруч із селищем Кнежевес та містом Гостивице; один – у складі розважального центру POP Airport, район Тухомержице, місто Прага)⁴⁷.

Це свідчить про те, що:

- авіація не втрачає з часом своїх прихильників;
- аеропорти зацікавлені у поширенні спектру послуг неавіаційного спрямування, серед яких плейн-спотинг.

Врахування комплексу факторів впливу на формотворення дозволяє отримати:

- **унікальні об’єкти**, які стають акцентами забудови, символами аеропортів та відповідних населених пунктів (як-от, споруда Theme Building, до складу якої входив ОМ із кафе-баром для відвідувачів, МА Лос-Анжелес, Каліфорнія, США. Взірєць архітектури модернізму, побудований у 1961 році спеціалістами фірм «Pereira & Luckman Associates», «Welton Becket & Associates» за участю Пола Р. Вільямса, Роберта Геррік Картера⁴⁸. Споруда Theme Building у 1993 році отримала статус історико-культурної пам’ятки міста, охор. №570);
- **унітарні** за архітектурно-планувальними та конструктивними рішеннями ОМ у структурі аеропортів (як-от, ОМ відкритого типу за межами летовища МА Вільнюс, Литва⁴⁹), тощо.

⁴⁷ Spots for Watching Landings and Take-Offs. The Airport for Spotters. *Prague Airport* : website. URL: <https://www.prg.aero/en/spots-watching-landings-and-take-offs> (Accessed : 12 January 2026)

⁴⁸ Still standing: The Theme Building, Los Angeles International Airport, 1961. *Architecture Today*: website. URL: <https://architecturetoday.co.uk/still-standing-the-theme-building-los-angeles-international-airport-1961/> (Accessed : 12 January 2026).

⁴⁹ First airplane observation platform in Lithuania opened at Vilnius Airport. *Airport-suppliers* : website. URL: https://www.airport-suppliers.com/airport_press_release/first-airplane-observation-platform-opens-at-vilnius-airport/ (Accessed : 20 January 2026)..

4. Оглядові майданчики у структурі просторової організації Міжнародного аеропорту «Бориспіль»: практика та перспективи

Для вітчизняної практики показовим є приклад влаштування ОМ у складі АВК (сучасного терміналу В) МА «Бориспіль», побудованого впродовж 1959–1965 років за індивідуальним проектом «Аеровокзал у Києві».

Останній був розроблений Державним інститутом із проектування «Київпроект» (авторський колектив під керівництвом архітектора А. В. Добровольського) за участі провідних спеціалістів зонального Науково-дослідного інституту експериментального проектування «КиївЗНДІЕП», київського Проектного інституту «Промбудпроект» та ін.

Це – перший для України великий за пропускної спроможністю 1600 пас/год АВК, який був орієнтований на децентралізовану систему обслуговування пасажирів та мав у структурі міжнародний сектор (200 пас/год), сектор обслуговування пасажирів категорії VIP⁵⁰.

Втілення задумів авторів проекту:

- наблизило транспортну галузь країни до світового рівня наземного забезпечення авіаційних перевезень;
- перетворило об'єкт інфраструктури авіаційного транспорту на взірць архітектури модернізму – своєрідну візитівку столиці та країни в цілому ⁵¹.

Низка технологічних, архітектурно-планувальних, конструктивних, інженерних та дизайнерських рішень АВК були інноваційними для того часу. Не виключенням були й стаціонарні ОМ у складі комплексу споруд, орієнтованих за технологічними вимогами в бік перону, зокрема:

- відкрита лінійно-протяжна складна за формою тераса вздовж фасаду аеровокзалу з функціями ОМ, прибудована до будівлі аеровокзалу у рівні другого поверху, з кутом огляду 180° (*реалізоване рішення*);
- плоска покрівля лінійно-протяжної дворівневої посадкової галереї, прибудованої до аеровокзалу з боку перону. Відповідні планувальні, конструктивні та інженерні рішення покрівлі забезпечували її експлуатацію у якості відкритого ОМ з кутом огляду 360° (*нереалізовані рішення*)⁵².

У процесі експлуатації аеропорту були посилені заходи, пов'язані із забезпеченням безпеки польотів, що призвело до змін у технологічних

⁵⁰ Троценко А. М. Аеропорти України. Київ: Європейський університет, 2002. 252 с.

⁵¹ Soloviov D. Ukrainian Modernism: Modernist Architecture of Ukraine. London: Fuel Publishing, 2025. 240 p.

⁵² Агєєва Г. М. Інноваційні планувальні та конструктивні рішення будівлі аеровокзального комплексу Міжнародного аеропорту «Бориспіль». *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. Вип. 2(4). С. 6–32. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.1>

процесах обслуговування пасажирів, у першу чергу був обмежений доступ до відкритої тераси з функціями ОМ. На початку ХХІ ст. під час проведення реконструкції АВК терасу було ліквідовано.

На даний час аеропорт не має стаціонарних ОМ, відкритих для масових відвідувань.

Разом із тим, кожний із сучасних пасажирських терміналів – А, В, С, D, F – має зали очікування із функціями ОМ обмеженого доступу (для пасажирів вильоту та трансферу).

Упродовж 2011–2012 років термінали А, С, F поступово були виведені з експлуатації, або використовувались для обмеженого за часом обслуговування окремих категорій пасажирів. Це призвело до змін схем руху людських та транспортних потоків.

Основні зони наземного обслуговування авіапасажирів, громадського та приватного транспорту змістились до терміналу D, дворівневої транспортної розв'язки і багатопверхового паркінгу. Сучасний комплекс паркінгу та естакад розв'язки набув функцій ПП минулого періоду будівництва аеропорта. А його розміщення вздовж фронту терміналу D забезпечило позитивне зорове сприймання пасажирами, які прибувають в аеропорт автотранспортом, лінійної архітектури розв'язки, паркінгу та власне терміналу^{53 54}.

Слід додати, що до початку у лютому 2022 року воєнних подій та закриття неба над країною, МА «Бориспіль» щорічно організовував, проводив та технічно забезпечував подієві заходи, зокрема KPB Spring Spotting⁵⁵.

З боку аеропорту залучались спеціалісти низки структурних підрозділів, у першу чергу служб маркетингу, безпеки, організації перевезень, спецавтотранспорту, паливно-мастильних матеріалів, аеродромної служби, тощо.

Стратегічний план розвитку аеропорту передбачає реконструкцію ЗПС, розширення терміналу D, будівництво перону та ін., а також низці об'єктів для надання неавіаційних послуг⁵⁶.

⁵³ Агеева Г. М., Волкова А. В. Привокзальні площі: реорганізація планувальних рішень під час реконструкції аеропортів. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2017. Вип. 3(19). С. 36–49. DOI: DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6668682>

⁵⁴ Agieieva G., Tymoshenko M., Bzhezovska N. Planing organization of macro environment of the airports. *AVIA-2019: Proceedings of the XIV International Scientific Conference*, Kyiv, April 23–25, 2019. Kyiv: NAU, 2019. Pp. 21.1–21.5. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4914474>

⁵⁵ Міжнародний аеропорт «Бориспіль» запрошує на спотинг. *Boryspil airport*: веб-сайт. URL: <https://kbp.aero/news/mizhnarodnyj-aeroport-boryspil-zaprosyue-na-spotting> (дата звернення: 20.01.2026)

⁵⁶ Про схвалення Концепції розвитку міжнародного аеропорту «Бориспіль» на період до 2045 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 травня 2019 року № 293-р / Кабінет Міністрів України. Урядовий кур'єр. 2019. № 90.

Уцільнення території забудови не виключає можливості влаштування стаціонарних ОМ.

На даний час зонами вільного доступу є ПП, обмеженого доступу – покриття багатоповерхового паркінгу.

У планах розвитку Державного підприємства обслуговування повітряного руху «Украерорух» – будівництво нової будівлі АДВ у МА «Бориспіль». Саме вона, врахуючи практику МА Відень-Швехат, Австрія, може набути додаткових рекламно-комерційних функцій, зокрема зон розташування ОМ на одному або декількох рівнях⁵⁷.

При виборі місця розташування ОМ потребують врахування особливості планування ПП, насамперед зони концентрації наземного транспорту, пасажирів, відвідувачів.

Це – складна за формою та площею територія, частка якої межує з терміналами В та F, інша – у зоні терміналу D – має дворівневу організацію. Але прийнята схема розподілу потоків автомобільного транспорту, наявність віадуку – теж приваблива динамічна ситуація для візуального спостереження.

За результатами аналізу просторово-планувальної організації аеропорту, схем руху людських та транспортних потоків, визначені зони просторової локалізації об'єктів тяжіння, як основних джерел постачання потенційних користувачів послугами ОМ:

- термінал D пропускної спроможністю 3000 пас/год;
- кінцева станція залізниці;
- багатоповерховий паркінг місткістю 2038 машин-місць.

Це дозволяє запропонувати такі варіанти, які відповідають вимогам доступності і зручності використання⁵⁸:

- 1 – влаштування ОМ на покрівлі багатоповерхового паркінгу – лінійно-протяжної будівлі 520,6 м завдовжки⁵⁹;
- 2 – будівництво нового ОМ поруч із терміналом D та кінцевою станцією залізниці (окремо розташованого або заблокованого з терміналом);
- 3 – після будівництва та введення до експлуатації нової АДВ передбачити перепрофілювання існуючої дев'ятиповерхової будівлі

⁵⁷ Агеева Г. М. Особливості формування об'ємно-просторової структури будівель аеродромно-диспетчерських веж. *Теорія та практика дизайну*. 2025. Вип. 2 (36). С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.1>

⁵⁸ ДСТУ ISO 21542:2025 Будинки та споруди. Доступність і зручність використання урбанізованого середовища (ISO 21542:2021, IDT). [На заміну ДСТУ Б ISO 21542:2013; чинний від 2026-02-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025.

⁵⁹ Агеева Г. М., Кафієв К. П. Проблеми відновлення будівництва масштабних інфраструктурних споруд після довготривалої перерви. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 3 (264–265). С. 10–21. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PPSACEA.2312.070720.10.636>

контрольно-диспетчерського пункту (у складі сучасного терміналу В) із додаванням нових функцій (ОМ, заклади харчування, видовищні заклади, реклама та ін.). Подібна практика існувала в МА імені Бенжаміна Степлтона, Денвер, Колорадо, США; МА Стокгольм-Арланда, Сігтуна, Швеція.

Усі три варіанти оцінені за декількома критеріями, серед яких:

- можливість негативного впливу на основні технологічні процеси діяльності аеропорту;
- придатність для експлуатації під час різних подій та візуальна доступність максимальної кількості об'єктів для спостереження;
- відсутність висотних перешкод (будівель, споруд), можливість організації візуального огляду (коло 360°) та його якості;
- пішохідна доступність (до 150 м) від кінцевих зупинок автомобільного транспорту та залізниці⁶⁰;
- можливість організації комунікаційних зв'язків між ОМ та операційними залами пасажирських терміналів;
- забезпечення максимальної місткості, комфортних умов перебування.

Кожний із запропонованих варіантів має свої переваги та недоліки, але це не виключає можливості пошуку інших рішень, зокрема під час розширення терміналу D, тобто змін його технологічних, архітектурно-планувальних, конструктивних та інженерних рішень.

ВИСНОВКИ

1. Аеропорти є складниками критичної інфраструктури країни, експлуатація яких має свої особливості та регламентовані обмеження. Тому влаштування ОМ як один із кроків усунення соціальних бар'єрів та забезпечення загального доступу до візуального спостереження за видовищними подіями вимагає:

- дбайливого втручання в існуючу систему обслуговування повітряного руху та наземного забезпечення авіаційних перевезень;
- відповідної регламентації процесів їх проєктування, будівництва та експлуатації, тощо.

2. Разом з тим, аеропорти мають відповідні якості та передумови для включення їх до царини туристично-рекреаційних ресурсів країн, регіонів, міст.

3. Розширення аеропортами спектру послуг неавіаційного спрямування свідчить про функціональну трансформацію та модернізацію

⁶⁰ ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [На заміну ДБН Б.2.2-12:2018; чинні від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ: Місрєгіон України, 2019. 185 с.

складних транспортних підприємств, які сприяють не тільки зростанню доходів, але й формуванню осередків соціокультурного простору як складника туристичної дестинації.

4. До складу таких осередків входять ОМ, різні за функціональним призначенням, архітектуро-планувальними, конструктивними, інженерними рішеннями, місцями розташування в системі просторово-планувальної організації аеропортів.

5. Узагальнення світового досвіду організації ОМ в аеропортах дозволяє визначити:

- їх типологію, критерії впливу на формотворення та прийоми розміщення у системі просторової організації АВК аеропортів;
- інноваційність проектних рішень в МА «Бориспіль», які частково були реалізовані впродовж 1959–1965 роках, та оцінити можливість влаштування нових ОМ у сучасній системі просторово-планувальної організації аеропорту для задоволення відповідного соціального запиту з боку користувачів послугами авіаційного транспорту.

АНОТАЦІЯ

Авіація та видовищні події, які з нею пов'язані, мають велику кількість прихильників – представників різних соціальних класів та верст населення.

Розширення аеропортами спектру послуг неавіаційного спрямування сприяє формуванню осередків соціокультурного простору як складника туристичної дестинації.

Серед них особливе місце займають оглядові майданчики, різні за функціональним призначенням, містобудівними, архітектурно-планувальними, конструктивними та інженерними рішеннями.

Існуючий досвід влаштування та експлуатації оглядових майданчиків на території аеропортів і в зонах їх впливу дозволяє його узагальнити, систематизувати та запропонувати, передовсім:

- їх класифікацію у залежності від подій та об'єктів для візуального спостереження;
- визначити у системі просторової організації аеропортів зони та об'єкти, до яких вони тяжіють;
- виділити їх типологічні особливості;
- окреслити критерії впливу на їх формотворення.

Запропонована типологія:

- покладена в основу досліджень інноваційних для вітчизняної практики проектних рішень оглядових майданчиків в Міжнародному аеропорту «Бориспіль», які частково були реалізовані впродовж 1959–1965 роках;

– застосована для розроблення фор-пропозицій влаштування нових ОМ у сучасній системі просторової організації аеропорту для задоволення відповідного соціального запиту з боку користувачів послугами авіаційного транспорту.

Література

1. Про схвалення Концепції розвитку міжнародного аеропорту «Бориспіль» на період до 2045 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 травня 2019 року № 293-р / Кабінет Міністрів України. Урядовий кур'єр. 2019. № 90.
2. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [На заміну ДБН Б.2.2-12:2018; чинні від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.
3. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [На заміну ДБН В.2.2-17:2006; чинні від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 68 с.
4. ДСТУ ISO 21542:2025 Будинки та споруди. Доступність і зручність використання урбанізованого середовища (ISO 21542:2021, IDT). [На заміну ДСТУ Б ISO 21542:2013; чинний від 2026-02-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025.
5. Агеєва Г. М. Інноваційні планувальні та конструктивні рішення будівлі аеровокзального комплексу Міжнародного аеропорту «Бориспіль». *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. Вип. 2(4). С. 6–32. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.1>
6. Агеєва Г. М. Особливості формування об'ємно-просторової структури будівель аеродромно-диспетчерських веж. *Теорія та практика дизайну*. 2025. Вип. 2 (36). С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.36.1>
7. Агеєва Г. М. Туристичний потенціал аеропортів та територій, наближених до них. *Роль та значення індустрії туризму й гостинності у розвитку територій, громад, держави* : монографія. Львів : ЛТЕУ, 2022. С. 249–263. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6470739>
8. Агеєва Г. М., Волкова А. В. Привокзальні площі: реорганізація планувальних рішень під час реконструкції аеропортів. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2017. Вип. 3(19). С. 36–49. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6668682>
9. Агеєва Г. М., Кафієв К. П. Проблеми відновлення будівництва масштабних інфраструктурних споруд після довготривалої перерви. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 3 (264–265). С. 10–21. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.070720.10.636>

10. Адамовський О. М., Кулаєц Я. М. Дослідження сутності туристичної дестинації та методів її розвитку. *Економічний простір*. 2025. Вип. 197. С. 262–269. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.262-269>

11. Венгер В. В., Романовська Н. І. Моделювання ринку аеропортових послуг у системі забезпечення глобальної конкурентоспроможності. *Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців. Серія: економіка, управління, безпека, технології*. 2023. Том 1. № 1. URL: <https://man.org.ua/nv/index.php/about/article/view/41/39>. DOI: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2023-2-1-2> (дата звернення: 20.01.2026)

12. Дружиніна В. В. Вектори розвитку авіаційної інфраструктури в контексті активізації туризму. *Вчені записки Таверійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Економіка і управління. 2019. Т. 30(69). № 1. С. 1–6.

13. Кіс Н. Ю., Тютюнникова Г. С., Несух М. М., Субота А. В. Проблеми інтеграції Концепції сталого розвитку в проекти просторового планування в Україні (частина 1). *Просторовий розвиток*. 2025. № 11. С. 383–396. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.383-396>

14. Кузнік А. Засади державної політики захисту об'єктів критичної інфраструктури в авіаційній галузі. *Академічні візії*. 2024. № 38. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1760>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15120105>

15. Куцевич В. В. Архітектурна типологія громадських будинків і споруд. Сучасні тенденції розвитку. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2014. Вип. 35. С. 376–384.

16. Ложачевська О. М., Паламарчук Ю. А. Формування стратегії економічного розвитку пасажирського терміналу аеропорту : монографія. Київ: Кондор, 2009. 240 с.

17. Міжнародний аеропорт «Бориспіль» запрошує на спотинг. *Boryspil airport*: веб-сайт. URL: <https://kbp.aero/news/mizhnarodnyj-aeroport-boryspil-zaproshuye-na-spottynng> (дата звернення: 20.01.2026)

18. Павелко В. Ю. Розвиток неавіаційної діяльності аеропортів України. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2017. Вип. 17. С. 397–399.

19. Проектування та будівництво аеродромних комплексів: монографія / Г. М. Агєєва, Л. Г. Гуртіна, О. М. Дубик та ін.; за заг. ред. В. В. Карпова. Херсон: Олді+, 2022. 336 с.

20. Спотерський рух: загрози і захоплення. *Вороньківська територіальна громада* : веб-сайт. URL: <https://voronkivska-sr.gov.ua/news/206907-spoterskii-rux-zagrozi-i-zaxoplennia> (дата звернення: 20.01.2026).

21. Троценко А. М. Аеропорти України. Київ: Європейський університет, 2002. 252 с.
22. Харчук О. О. Сталий розвиток: економічний, екологічний і соціальний аспект. *Україна у глобальному світі* : монографія. Рига, 2020. С. 209–225.
23. Шука Г. П., Ковальська, Л. В., Безрученков Ю. В. Подієвий туризм: уточнення базових характеристик. *Індустрія туризму і гостинності в Центральній та Східній Європі*. 2022. Вип. 7. С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.32782/tourismhospsce-7-8>
24. International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9184-AN/902. Airport planning manual. Part 1. Master planning. Ed. 5. Montreal, Quebec, Canada, 2009.
25. International Civil Aviation Organization (ICAO). DOC 9562. Airport Economics Manual. 3rd edn. Montreal, Quebec, Canada, 2013. 152 p.
26. United Nations (UN). Resolution adopted by the General Assembly. 42/187. Report of the World Commission on Environment and Development. 11 December 1987. UN Documents : websity. URL: <http://www.un-documents.net/a42-427.htm>. (Accessed : 20 January 2026).
27. United Nations (UN). The Sustainable Development Goals. United Nations (UN): website. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment> (Accessed : 20 January 2026).
28. Agieieva G. Visitors' Terraces as Components of the Urban Environment of Airports. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds). *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering Springer*, Cham. 2023. Vol. 299. Pp. 393–409. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_31
29. Agieieva G., Tymoshenko M., Bzhezovska N. Planing organization of macro environment of the airports. *AVIA–2019: Proceedings of the XIV International Scientific Conference*, Kyiv, April 23–25, 2019. Kyiv: NAU, 2019. Pp. 21.1–21.5. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4914474>
30. Agieieva G., Nickolchuk B. Airports as art-space. *AVIA–2019: Proceedings of the XIV International Scientific Conference*, Kyiv, April 23–25, 2019. Kyiv: NAU, 2019. Pp. 21.13–21.17. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7848199>
31. Bosma J. E., Nikolaeva A. A. The airport: Prototype of the global city? In: Berkers M., Linders J., editors, *Megastructure Schiphol. Design in spectacular simplicity*. Rotterdam: NAI010 Publishers. 2013. Pp. 199–217.
32. Chulinda L., Smirnov O., Shapenko L., Ustynova I., Bohatiuk I., Kelyp S. The role of innovation in ensuring the safety of international civil aviation. *CH&CMiGIN'25: Fourth International Conference on Cyber Hygiene*

& Conflict Management in Global Information Networks, Kyiv, June 20–22, 2025. Kyiv: KAI, 2025. Vol. 4024. Pp. 530–542.

33. First airplane observation platform in Lithuania opened at Vilnius Airport. *Airport-suppliers* : website. URL: https://www.airport-suppliers.com/airport_press_release/first-airplane-observation-platform-opens-at-vilnius-airport/ (Accessed : 20 January 2026).

34. Flughafen Tempelhof. Vom Flugfeld zum Freiraum. *Visitberlin* : website. URL: <https://www.visitberlin.de/en/flughafen-tempelhof-tempelhof-airport> (Accessed : 20 January 2026).

35. Guller M., Guller M. Del aeropuerto a la ciudad aeropuerto. Barcelona : Editorial GG, SLU, 2003. 192 p.

36. Lenotti W. More than just a place to land. History, function and future of the Vienna Airport. Vienna: Compress Verlag, 1988. 198 p.

37. Maksymiuk Yu.V., Chulinda L.I., Korchova H.L., Pochka K.I. Priority directions of international airport infrastructure development. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Kyiv: KNUBA, 2022. Issue 109. Pp. 301–316. DOI: DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.301-316

38. Medvedev A., Lomar I., Augustyn S. Innovation in airport design. *Aviation*. 2017. Vol. 21(1). Pp. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.3846/16487788.2017.1303542>

39. Pijet-Migo'n E. Aviation Heritage in the Urban Landscape – Concept and Examples from Berlin. *Heritage*. 2025. Vol. 8. P. 225. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage8060225>

40. Planespotting site. *Vilnius-airport* : website. URL: <https://www.vilnius-airport.lt/en/planespotting>. (Accessed : 20 January 2026).

41. Soloviov D. Ukrainian Modernism: Modernist Architecture of Ukraine. London: Fuel Publishing, 2025. 240 p.

42. Spots for Watching Landings and Take-Offs. The Airport for Spotters. *Prague Airport* : website. URL: <https://www.prg.aero/en/spots-watching-landings-andtake-offs> (Accessed : 20 January 2026)

43. Stangel M. Airport city – an urban design question. Gliwice, Poland : Helion Publishing House, 2019. 209 p.

44. Still standing: The Theme Building, Los Angeles International Airport, 1961. *ArchitectureToday*: website. URL: <https://architecturetoday.co.uk/still-standing-the-theme-building-los-angeles-international-airport-1961/> (Accessed : 20 January 2026).

45. Zadrazilova D. Berlin Tempelhof: From Heritage Site to Creative Industry Hub? *EX NOVO Journal of Archaeology*. 2020. Vol. 5. Pp.: 79–91. DOI: <https://doi.org/10.32028/exnovo.v5i.413>

Information about the author:

Agieieva Galyna Mykolaivna,

Candidate of Technical Sciences, Senior Research Associate

Full Member of the Academy of Construction of Ukraine,

Academia of Civil Engineering of Ukraine,

4, Osvita str., Kyiv, 03037, Ukraine

09

SECTION



**GENERAL
ISSUES
OF ENGINEERING
SCIENCES**

РІЗНОМАНІТНІ КОНЦЕПЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вдовиченко І. Н.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-20>

ВСТУП

Термін математичне моделювання з'явилося і стало активно використовуватись в останні десятиріччя двадцятого століття. Виник він спочатку у фізиці. Успіхи математичного моделювання у фізиці стимулювали процес проникнення цих методів в інші галузі знань (техніку, біологію, економіку, соціологію, військову справу тощо).

Дотепер однозначно не визначено: правильна побудова моделі – це знання, досвід, уміння, інтуїція чи мистецтво дослідника. Математичне моделювання може відкрити великі світові можливості.

Математичне моделювання – це важливий інструмент для розуміння та вирішення складних завдань. Воно використовує, абстрактне уявлення систем у вигляді математичної мови, для аналізу, прогнозування і пояснення їх поведінки.

Математичне моделювання є основним для розпізнавання та вирішення реальних світових проблем. «Без математичного моделювання ми покладаємося на вигляд і зручність, вічно крутячи колеса в марних спробах зробити світ кращим».

Як пояснює Дженніфер А. Чочер із Техаського державного університету: «Математичне моделювання означає створення математичної системи для опису, пояснення чи прогнозування реального світу». Для цього необхідно зробити вибір щодо того, що слід використати, що слід спростити і як обґрунтувати цей вибір.

Незважаючи на розуміння корисності та цінності у демонстрації того, як математика може допомогти аналізувати та спрямовувати прийняття рішень для заплутаних проблем сучасного світу, у багатьох спеціалістів обмежений досвід роботи з математичним моделюванням. Для його використання необхідно знати основні поняття математичного аналізу, лінійної алгебри, дискретної математики та диференціальних рівнянь.

Бажано вміти розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь, володіти методами чисельного диференціювання та інтегрування. Схема математичного моделювання представлена на рис.1

При опануванні математичного моделювання, при визначенні чим воно є і чим займається, які у нього інструменти та яка мета, і взагалі, яка користь від його застосування, виявляються різні системи поглядів, різні методи та різні підходи. Для ефективного використання математичного моделювання у наукових дослідженнях, на виробництві, для прийняття рішень, у навчанні, слід досконало розібратися, чим же відрізняються ці концепції одна від одної.

1. Математичне моделювання у сучасному світі

Дуже важливий для математичного моделювання, звіт GAIMME, двох американських організацій, Консорціуму з математики та її додатків (COMAP) та Товариства промислової та прикладної математики (SIAM), який представляє «математичне моделювання – як процес, який використовує математику для представлення, аналізу, прогнозування або іншого надання розуміння явищ реального світу»¹. У звіті підкреслено, що математичне моделювання, на робочому місці, використовує математику для відповіді на великі, заплутані, засновані на реальності питання.

Більшість визначень підкреслюють цей найважливіший аспект, а саме, зв'язок між моделюванням та навколишнім світом. Математичне моделювання забезпечує:

- Використання мови математики для кількісної оцінки явищ реального світу та аналізу поведінки;
- Використання математики для дослідження та розвитку нашого розуміння проблем реального світу;
- Ітеративний процес вирішення проблем, у якому математика використовується для дослідження та розвитку глибшого розуміння.

«Загальна надія та бачення Консорціуму з математики та її додатків (COMAP) та Товариства промислової та прикладної математики (SIAM) полягають у тому, що цей звіт спонукає освітню спільноту включити математичне моделювання до навчальних програм, починаючи з дошкільної освіти та закінчуючи вищою освітою. Крім того, важливо, щоб були визнані та розвинені навички, необхідні для ефективного застосування математичного моделювання, такі як логічне мислення, вирішення проблем, аналіз чутливості та комунікативні навички»².

¹ GAIMME. URL:https://www.comap.com/images/resources/free_resources/GAIMME_Report.pdf

² GAIMME. URL:https://www.comap.com/images/resources/free_resources/GAIMME_Report.pdf

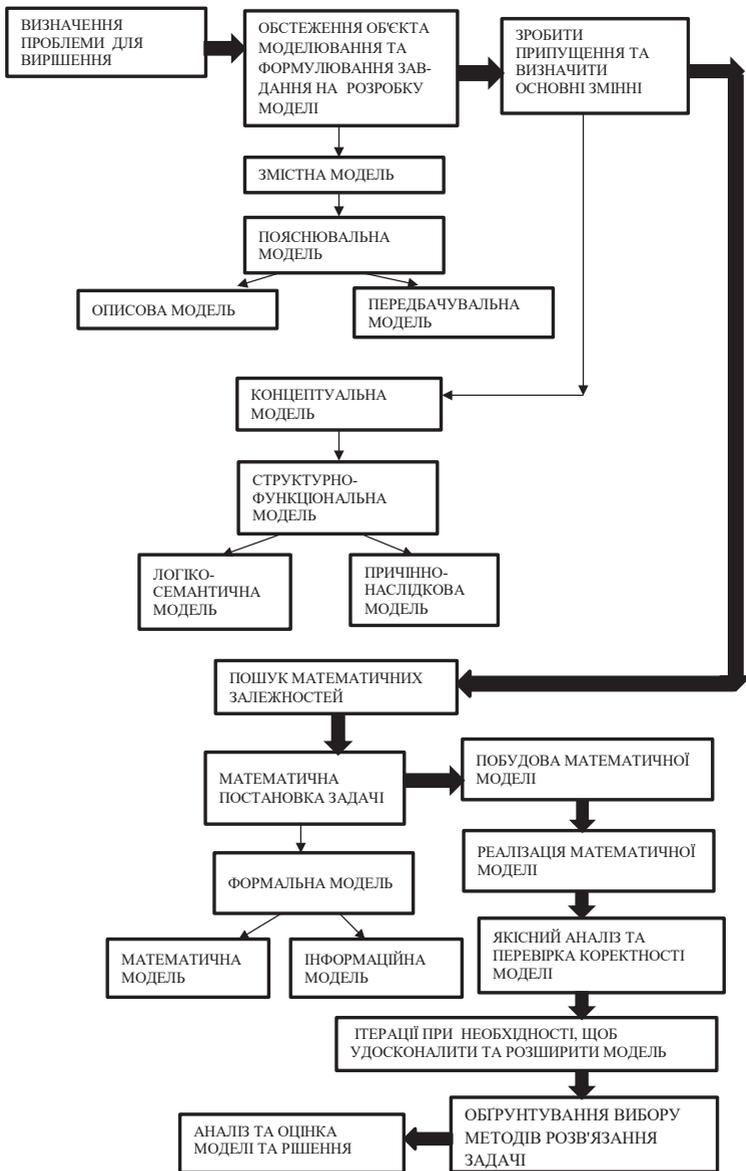


Рис. 1. Логіко-функціональна схема процесу математичного моделювання з виділенням проміжних моделей

У звіті GAİMME математичне моделювання розглядається як іменник, як дієслово, як спосіб мислення. Що ж із цього правильніше? Говорячи про моделювання часто пропонують різні за складністю типи моделей.

Але сприйняття математичного моделювання, як набору моделей і правил їх застосування дуже обмежено. Зрозуміло, що це поняття динамічне, що воно розвивається, і не може бути іменником.

Автори звіту GAİMME стверджують: «Ми говоримо не про моделі. Ми говоримо про моделювання». Справді, математичне моделювання – це процес. Спочатку виявили проблему, для її вирішення сформулювали завдання, для його виконання визначили математичну залежність та математичні моделі обчислень, виконали розрахунки, перевірили адекватність моделі, виконали аналіз результатів, осмислили вихідні дані, зробили висновки з проблеми.

На певному етапі моделювання перетворюється на звичку, завдяки якій ваш розум бачить та формує навколишній світ. Математичне моделювання розвиває «дар мислення, заснований на моделюванні, моделювання стане чимось більшим, ніж просто прогрес чи процес» 2. На цьому етапі дослідник починає думати та приймати рішення. Звідси випливає, що математичне моделювання треба розглядати як дієслово та спосіб мислення.

Розглядаючи поняття математичного моделювання використовують кілька аспектів, представляючи його:

1. Як метод розв'язання задач.
2. Як метод дослідницької діяльності.
3. Як спосіб прийняття рішення.
4. Як принцип навчання.
5. Як засіб навчання.
6. Як метод навчання.
7. Як метод викладання.
8. Як мета навчання.
9. Як засіб активізації пізнавальної діяльності.
10. Як евристичний метод навчального пізнання.

Такого розмаїття не має жодне технічне направлення.

Цінність та важливість навичок, необхідних для ефективного виконання математичного моделювання, таких як:

- логічне мислення,
- уміння вирішувати завдання,
- уміння аналізувати,
- комунікабельність,

визнаються всіма авторами, але при цьому пропонуються різні підходи до цілей та формування поняття «математичне моделювання». Актуальним стає завдання: розглянути та проаналізувати деякі з них.

2. Аналіз принципів та підходів до використання математичного моделювання

1) Пропонується підхід: використовувати ідеологію математичного моделювання виключно для розвитку особистісних та інтелектуальних якостей людини. Таких якостей як: спостережливість, вміння абстрагуватися, вміння концентрувати свою увагу на певному питанні, зосередженість, аналітичне мислення, логічне мислення, просторове уявлення, вміння робити висновки, вміння бачити за приватним загальне та виділяти із загального приватне.

Математичне моделювання – це потужний інструмент, який дозволяє застосовувати математичні концепції до конкретних завдань, сприяючи розвитку креативності та критичного мислення.

Математичне моделювання розвиває вміння виконувати структурований підхід до вирішення складних завдань, вміння викладати свої думки, знаходити рішення, коли інформація неповна чи неструктурована, заохочує розвиток мислення, здатного розробляти та тестувати нові підходи для вирішення складних завдань, сприяє розвитку самостійності, креативності, інтелектуальності.

2) Якщо одні автори пропонують зосередитися лише на математиці, на її поняттях, законах, доказах та її інтерпретації реального світу, то інші пропонують не використовувати варіанти моделювання тісно пов'язані з математикою. Мається на меті: не завантажувати дослідників математикою. На нашу думку, це спірний погляд, але в нього є свої прихильники.

Цей принцип використання математичного моделювання пропонує, наприклад, при побудові символічних та графічних моделей уникати математичних залежностей. В цих випадках, як варіант, пропонується використання мови моделювання UML, яка дозволяє моделювати різні види систем: лише програмні, лише апаратні, програмно-апаратні, змішані (що включають діяльність людини) тощо.

3) Іноді пропонують використовувати математичне моделювання, як можливість інтеграції математики в практико-орієнтовану, професійну підготовку науковців та робітників конкретної галузі.

Підхід, який представляє математику як інструмент вивчення світу. Замість того, щоб починати з похідних та інтегралів, як в інших підходах, рекомендується починати з наукових та виробничих питань,

які вже зараз становлять інтерес, наприклад прогнозування погодних аномалій. Тоді математична складова, розглядається як необхідність, для пояснення складних проблем та питань, що досліджуються. Математичне моделювання може бути використане для мотивації та може підкреслити важливість та актуальність математики для відповіді на важливі питання.

Такий підхід змінює фокус уваги з обчислень на концептуальне розуміння питання. Мало знати, як обчислюється похідна, при моделюванні необхідно пояснити, чим ця похідна є і що вона дасть для вирішення цієї проблеми. Змінюється порядок, спочатку проблема, потім математика. Коли для пояснення питання одних знань та інтуїції недостатньо, математичне моделювання починає відігравати важливу роль, тому що воно необхідне для вирішення питання. Подібний підхід відкриває очі на безпрецедентну силу використання математики для розуміння навколишнього світу³.

Інтеграція математичних знань, виявлення та практична реалізація їх у взаємних зв'язках математичних та профільних дисциплін, формують перехід до нових, вищого порядку знань, способів дій, що впливають на індивідуальну розумову діяльність. Ця інтеграція дозволяє пов'язати абстрактні, математичні поняття з конкретними уявленнями об'єктів математичних систем.

Доведено, що перехід від абстрактного математичного поняття до об'єктів реального світу покращує розуміння процесів, покращує сприйняття нового матеріалу, підвищує продуктивність досліджень, запам'ятовування та відтворення.

Практичне вирішення питань інтеграції математичних знань та об'єктів реального всесвіту, завдяки математичному моделюванню ґрунтується на тому, що сучасна робота інженерна все більше стає інтелектуальною, креативною, що вимагає залучення різноманітного математичного апарату та постійному вдосконаленню відповідно до вимог інженерії. Вирішувати ці питання треба на основі моделюючих пристроїв, програмного забезпечення та засобів обчислювальної техніки.

В математичному моделюванні застосовують наступні зв'язки характеристик процесів та функціональних понять (табл. 1).

При такому підході, аналізуючи аналітичну діяльність дослідників та інженерів у галузі математичного моделювання технічних систем та їх елементів, ми можемо виділити необхідні критерії прояву зв'язності

³ Сілкова О.В., Лобач Н.В. Педагогічна технологія візуалізації навчальної інформації. Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова. 2018. №62. С.180-183.

Зв'язки характеристик процесів та функціональних понять

Характеристики процесу	Функціональні поняття
Тенденції процесу, що виявляються з часом.	Межа функції на нескінченності, асимптотична поведінка.
Безперервний перебіг процесу (перепади, збої).	Безперервність функції (розриви).
Швидкість перебігу процесу.	Похідна функцій.
Зміна станів у малі проміжки часу.	Диференціал функції.
Зростання, падіння.	Монотонність функції.
Пікові стани (апогей, перигей).	Екстремуми функції (найбільше, найменше значення).
Відтворюваність станів процесу.	Періодичність функції.
Проміжні стани.	Інтерполяція.
Прогнозовані стани.	Екстраполяція.
Відновлення процесу за швидкістю його течії.	Невизначене інтегрування.
Зміна процесу на часовому проміжку, локально залежить від часу протікання лінійним чином.	Певний інтеграл.

математичних та інженерних основ при вирішенні дослідних та виробничих завдань:

- знати зв'язки характеристик процесів та функціональних понять;
- вміти використовувати математичний апарат для моделювання та контролю роботи моделей;
- знати та вміти застосовувати базові засоби, прийоми, способи дій системи математичних об'єктів;
- застосовувати раніше засвоєні знання та вміння у новій ситуації з елементами профільних знань;
- вміти перекласти завдання з практичним змістом на математичну мову;
- знати та вміти застосовувати засоби, прийоми, способи дій математичного моделювання на основі протоколу прикладного програмного забезпечення;
- знати та вміти застосовувати новітні інформаційні технології для проектування та побудови математичних моделей виробничих систем;
- вміти інтерпретувати та критично оцінювати результат математичного моделювання з урахуванням поставлених завдань.

У ряді робіт справедливо зазначається, що володіння методами математичного моделювання є невід'ємною вимогою сучасного етапу освіти, практичної діяльності та наукових досліджень.

Стає очевидним, що повнота математичних та профільних знань, способів дій, цілісність їх застосування відповідно до професійної

компетентності, об'єднання творчої діяльності та технічної практики призводять до найкращих результатів у підготовці інженерно-технічних та науково-технічних кадрів.

Очевидно, що математичне моделювання (особливо у наших, сьогодишніх умовах бурхливого розвитку штучного інтелекту):

- забезпечує зв'язок із науково-виробничими підрозділами у процесі підготовки студентів технічних спеціальностей;
- формує необхідність об'єднати творчу та інженерну діяльність;
- відіграє найважливішу, докорінну роль у формуванні сучасного інженера, дослідника, математика зокрема.

Ми підкреслюємо важливу роль математичної підготовки студентів технічних спеціальностей та інженерно-технічних працівників, повноту використання математичного апарату у подальшому навчанні та ефективній професійній діяльності.

Звідси випливає, що можна назвати безліч професій, у яких математичне моделювання застосовується на вирішення професійних завдань. Розглянемо деякі з них, в яких використання математичного моделювання є необхідністю.

- Архітектор – використовує математичні моделі топологій та форм для створення оптимального проекту;
- Аналітик для обґрунтування рекомендацій та прийняття рішень будує математичні моделі;
- Спеціаліст ІТ застосовує математичне моделювання для створення симуляцій, пошуку рішень;
- Фахівець із аналізу даних використовує математичні моделі для моделювання даних та прийняття оптимальних рішень;
- Економісти будують математичні моделі для відображення взаємозв'язків між цінами, попитом, виробництвом, зайнятістю, товаром та іншими факторами;
- Інженер у будь-якій галузі використовує математичні моделі для аналізу поведінки фізичних систем;
- Синоптики будують прогностичні математичні моделі для складання таблиць ймовірностей ризиків, заснованих на галузевих даних;
- Науковці за допомогою математичного моделювання можуть підтвердити або спростувати наукові гіпотези;
- Статистик створює математичні моделі для аналізу та обробки інформації;
- Епідеміолог застосовує математичні моделі для прогнозу поширення вірусу, оцінки ефективності заходів охорони здоров'я та планування заходів у відповідь.

– Еколог, у його роботі математичні моделі грають ключову роль у розумінні зміни клімату та її наслідків. Кліматичні моделі – це складні симуляції, які враховують атмосферні, океанічні та наземні процеси для прогнозування майбутніх кліматичних умов;

– Фінансист широко використовує моделювання. Будує моделі управління ризиками, кредитний ризик, ризик ліквідності, моделі інвестиційних стратегій.

Слід зазначити, що «не математичні спеціальності» активно використовують математичне моделювання.

Математичне моделювання є важливою складовою наукової роботи практично у всіх наукових напрямках. Воно використовується в дослідженнях у багатьох галузях науки, але що цікаво, в колективах, що займаються цим, часто немає людей з класичною математичною освітою, з глибокою математичною підготовкою.

Математичне моделювання – це потужний інструмент, що виходить за рамки окремих дисциплін, як показують наведені приклади. Воно дозволяє нам спрощувати та досліджувати складні системи, передбачати майбутні сценарії та приймати обґрунтовані рішення. Різноманітні застосування математичного моделювання, від розрахунків витрат до дослідження космосу, демонструють його велике значення у житті людства. Подальше використання математичного моделювання у всіх галузях виробництва та науки буде сприяти всебічному розвитку та модернізації.

4) Пропонується така технологія підходу до математичного моделювання, що дозволяє коригувати психологічні якості інженера-дослідника. Як ми визначили, це найбільш результативне у галузі мотивації досягнення успіхів, у тому числі заміну мотиву уникнення невдачі на мотив досягнення успіху у професійній та науковій діяльності.

Проблема підвищення якості науки, виробництва, освіти тісно пов'язана із проблемою мотивації інженерів, науковців та студентів. Підвищення мотивації є складне завдання. Тут не тільки фінансове питання. Ситуація в галузі мотивації стала змінюватися не на краще. Останнім часом виявилось, що ця проблема стосується тепер і тих дослідників та студентів, які досягали добрих успіхів у науковій діяльності та навчанні ⁴.

Комп'ютерне та математичне моделювання дозволяє навчити вирішувати складні завдання, зняти страх перед «не вирішуваними» завданнями, збільшити мотивацію, змінити мотивацію уникнення невдачі

⁴ N. Karjanto. Teaching Mathematical Modeling In a Sustainability Context. The UMAP Journal 45.2. 2024. URL:https://www-comap-com.translate.googleusercontent.com/membership/free-student-esources/item/teaching-mathematical-modeling-in-a-sustainability-context?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq

на мотив досягнення успіху у різноманітній діяльності. При використанні сучасних пакетів комп'ютерної математики, в яких значне місце займають елементи штучного інтелекту, моделювання, «прогонка» моделі, одержання повторюваності результатів експерименту та інше, виконується значно швидше та наочніше. Коли інженер чи студент має змогу швидко одержати (при правильній будові моделі та правильному використанні пакета комп'ютерної математики) зворотній в'язок з моделлю, системою на її основі, це значно підвищує мотивацію для занять математичним моделюванням. Це, в свою чергу, має призвести до підвищення якості науки, виробництва, освіти.

5) Концепція, яка представляє основну мету математичного моделювання у розвитку розумових здібностей науковців, інженерів виробництва, студентів.

Складність реального світу, який ми намагаємося зрозуміти, та елементами якого прагнемо керувати, неминуче призводить до вузької спеціалізації дослідників та їх прагнення вдосконалювати свої знання у певній галузі. Це вимагає напруження розумових, моральних та фізичних сил. У цьому плані математичне моделювання один із дієвих методів організації розумової діяльності. Зрозуміло, що вирішення завдань заміщення різних складних об'єктів, явищ, процесів, систем та їх елементів, математичними моделями, так чи інакше передбачає освітню пошукову активність та інтелектуальну роботу.

Інженер-дослідник або прикладний математик повинен уміти коротко, чітко і однозначно визначити та зафіксувати всі характеристики та вимоги об'єкта, процесу, системи, переконавшись у їх несуперечності. Або, зафіксувавши суперечливі вимоги, визначити область можливого компромісу в моделі без втрати основних властивостей.

Від коректності вирішення цього етапу значною мірою залежить успіх побудови математичної моделі та успіх всього дослідження. Це необхідно, щоб значна праця, витрачений час на рішення математичного завдання, не виявився витраченим марно через недостатню увагу до цього питання.

При формуванні мети в математичному моделюванні можна виділити два класи. Ці класи використовують для дослідження поведінки об'єкта, процесу, системи (завдання типу прогнозу) та отримання інформації про внутрішню структуру та властивості досліджуваного об'єкта.

а) До першого класу завдань належить так звані прямі завдання. Тут передбачається, що основні закони функціонування системи відомі, але досить складні, так, що передбачення поведінки системи вимагає використання трудомістких математичних методів та значного чисельного розрахунку.

б) До другого класу входять так звані обернені завдання, пов'язані зі знаходженням характеристик моделі з відновленням окремих властивостей досліджуваної системи, її параметрів і т.д. по заданій (відомій з експерименту) поведінці системи. Прикладом тут можуть бути завдання на конструювання технічних систем із заданими властивостями або розпізнавання об'єктів за результатами його обстеження.

Як бачимо, для побудови моделі та вирішення даних складних завдань необхідні трудомісткі математичні методи та значні чисельні розрахунки, а це вимагає та зобов'язує дослідників удосконалюватись, розвивати розумові здібності, підвищувати інтелект, накопичувати нові знання.

Для вирішення виробничих та наукових завдань необхідно пов'язати фізичне та абстрактне, інтерпретувати результат, а це теж вимагає здатності до напруженої розумової діяльності, розвитку логічного та алгоритмічного мислення у процесі творчої роботи науковців, інженерів виробництва, студентів. Зрозуміло, що сама модель залежить від наявних ресурсів та знань особи, яка її створює.

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок, що чим досвідченіший дослідник, який володіє інтелектуальним мисленням, тим складніша та правильніша математична модель, тому даний підхід в використанні математичного моделювання, направлений на розвиток розумових здібностей науковців, інженерів виробництва, студентів, досить виправданий.

б) Аналогічний попередньому підходу: математичне моделювання необхідне у навчальних цілях, як засіб навчання та розвитку креативних можливостей інженерів, дослідників, студентів.

Як було відзначено, що математичне моделювання – це принцип навчання,

засіб навчання, метод навчання, засіб активізації пізнавальної діяльності. евристичний метод навчального пізнання.

Ще у древній Греції вчені намагалися розробити методи, способи, теорію вирішення творчих завдань. Під творчими завданнями мають на увазі рішення, отримані винахідниками. Зрозуміло, що побудова математичних моделей є складне, творче, інтелектуальне завдання.

Ця проблема бере свій початок із середніх століть. Проблема активізації творчої діяльності вченого постала кожен раз коли виникала проблема відновлення винаходів. Звісно це вимагало навчання та розвитку інженерів, дослідників, студентів.

В 1956 році Генріх Альтшулер зайнявся проблемою, що полягала у тому, яким чином можна знаходити систематичні рішення, які вважаються повністю творчими. Він розробив алгоритм вирішення винахідницьких завдань – 85В. Алгоритм складається з кількох частин.

Основна мета – це перехід від розпливчастої винахідницької ситуації до чітко побудованої та гранично простої схеми-моделі завдання. Потрібно виконати наступні дії:

1. Записати умову без використання спеціальних термінів.
2. Зазначити технічні протиріччя.
3. Виявити об'єкт та інструмент, визначити, що необхідно змінювати.
4. Записати формулювання моделі завдання, коротко, чітко без спеціальних термінів.
5. Визначити ідеальне кінцеве рішення.
6. Записати рішення щодо використання ресурсів. Рішення необхідно писати коротко. Рішення тим ідеальніше, чим менше витрат ресурсів.
7. Аналізувати рекомендації з інформаційного фонду та вибрати метод (спосіб) подолання протиріччя.
8. Визначити математичний апарат для пошуку рішення.
9. Побудувати математичну модель.
10. Виконати розрахунки за математичною моделлю.

Розв'язання складних завдань часто пов'язане зі зміною змісту завдань, інакшої мети, поставленої раніше. Якщо завдання вирішене, потрібно перейти до технічної відповіді. Тут під розв'язанням завдання мається на увазі ідея, а технічна відповідь – це конструкція.

11. Аналіз порядку розв'язання. Це означає порівняти реальний порядок розв'язання даного завдання за збудованою математичною моделлю з теоретичним, за алгоритмом рішення АРІЗ (алгоритм розв'язання винахідницьких завдань) для самовдосконалення.

Насамперед, зрозуміло, що проблема навчання та розвитку креативних можливостей інженерів, дослідників, студентів, актуальна і в наш час, вирішення її, створення методів, умов, перспектив – досить важливе завдання.

На підставі зазначених даних, можна вважати що, математичне моделювання – є методом навчання та засобом активізації пізнавальної та творчої діяльності науковців та інженерів.

7) Концепція, в якій пропонується використовувати математичне моделювання, як метод виміру, для оцінки узагальненого інтелектуального вміння людини використовувати знання з математики, інформатики та інформаційних технологій.

Слід зазначити, що наскільки швидким, правильним, інноваційним, не стандартним буде створення математичної моделі за допомогою математики та кібернетичних систем, настільки досконало та глибоко дослідник володіє знання з математики, інформатики та інформаційних технологій.

Такий підхід дозволяє, насамперед, визначити місце математичного моделювання серед навчальних дисциплін, також зрозуміти, на що слід звернути більше уваги при підвищенні кваліфікації науковців та інженерів.

8) Підхід в якому пропонується використовувати математичне моделювання, як інструмент підвищення мотивації до вивчення саме математики, шляхом розвитку її прикладної спрямованості, навичок активного застосування математичних методів і моделей, розвитку здатності до дослідницької роботи ⁵.

На відміну від системи поглядів на математичне моделювання №3, тут потрібно починати, при опануванні математичним моделюванням, з поняття математичного аналізу, лінійної алгебри, дискретної математики та диференціальних рівнянь. Необхідно вміти розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь, володіти методами чисельного диференціювання та інтегрування. А потім пов'язувати ці поняття з процесами реального світу, демонструючи можливості математики описати майже всі процеси, об'єкти, системи, підтверджуючи вислів: «математика – цариця наук».

9) Підхід, у якому пропонується використовувати математичне моделювання для корекції психологічних якостей інженерів та дослідників.

Тут йдеться про здатність людини мислити одночасно і поняттями, і образами і символами. Ця здатність формується особливими психологічними якостями та функціями мозку.

Моделювання дозволяє розвивати здатність одночасно оперувати предметами, образами, висловленнями, освоювати логічні операції, що дозволяють мислити дедуктивно-теоретично. Разом з тим, у різних видах діяльності, визначені види мислення можуть превалювати. Так, у роботі конструктора – наочно-образне, у діяльності лікаря, наукового співробітника – абстрактно-логічне, вербальне.

Опанування математичним моделюванням має на увазі освоєння наступних понять:

- 1) «мови», на якій вестиметься моделювання;
- 2) «перекладу» реальної ситуації на дану математичну мову;
- 3) вибір істотних змінних та побудова схеми їх взаємозв'язків;
- 4) складання математичних виразів реально існуючих відносин та зв'язків;
- 5) вирішення математично виражених відносин та зв'язків;
- 6) тлумачення отриманої відповіді;
- 7) дослідження отриманого рішення;
- 8) дотримуватися найпростіших навиків самоконтролю.

⁵ Стоян В.А Математическое моделирование динамики неполно наблюдаемых линейных пространственно распределенных систем: Монография. – К.: ВПЦ “Киевский университет”, 2019. – 318 с.

Підсумовуючи можна сказати, що математичне моделювання – це інструмент інтелектуального навчання, інноваційних досліджень, ефективного виробництва, результативного розвитку особистості.

ВИСНОВКИ

Найважливішою частиною дослідження будь-якої моделі є вивчення концепцій її використання. Проблема, що розглянута у даній роботі – багатоліка, вона актуальна і для науковців, і для інженерів виробництва, і для студентів, і для викладачів.

В роботі розроблена та представлена логіко-функціональна схема процесу математичного моделювання з виділенням проміжних моделей.

Під час дослідження ми розглянули та проаналізували 9 концепцій використання математичного моделювання.

В результаті аналізу отримали, що при всієї зовнішньої відмінності, всі ці концепції говорять про позитивні результати застосування математичного моделювання.

Важливим аспектом, який говорить на користь широкого використання математичного моделювання, є його універсальність.

Тому ми вважаємо, що математичне моделювання – це той інструмент, який треба широко використовувати для:

1. розвитку особистісних та інтелектуальних властивостей людини;
2. інтеграції математики в професійну підготовку науковців та робітників конкретної галузі;
3. коригування психологічних якостей інженера-дослідника;
4. розвитку розумових здібностей науковців, інженерів виробництва, студентів;
5. використання у навчальних цілях для розвитку креативних можливостей інженерів, дослідників, студентів;
6. для визначення рівня знань з математики, інформатики та інформаційних технологій.
7. використання як інструмент підвищення мотивації до вивчення математики;
8. розвитку здібності мислити одночасно і поняттями, і образами і символами.

Але існує низка причин, що на практиці перешкоджають використанню математичного моделювання:

- 1) При підготовці майбутніх науковців і інженерів, курс вищої математики не враховує прикладної спрямованості предмета.
- 2) Низький рівень володіння сучасними інформаційними та кібернетичними системами.

3) Курси підвищення кваліфікації, для наукових та інженерних працівників, в основному спрямовані на професійні питання, та приділяють не достатньо уваги використанню математики та математичного моделювання з застосуванням новітніх програмних та апаратних засобів для вирішення актуальних проблем.

АНОТАЦІЯ

В матеріалі розглянуто такий актуальний напрямок в технічних науках, як математичне моделювання. В роботі представлена логіко-функціональна схема процесу математичного моделювання з виділенням проміжних моделей.

Увага приділена різноманітним концепціям використання математичного моделювання. В роботі докладно висвітлені особливості та протилежності різноманітних систем поглядів на використання математичного моделювання. Проаналізовано 9 концепцій, кожна з яких є важливою і має право на існування.

Інтерес представляє перелік перешкод, які на практиці гальмують використання математичного моделювання.

Література

1. GAIMME. URL: https://www.comap.com/images/resources/free_resources/GAIMME_Report.pdf
2. Стоян В.А Математичне моделювання динаміки лінійних просторово розподілених систем, що неповно спостерігаються: Монографія. К.: ВПЦ “Київський університет”, 2019. 318 с.
3. Сілкова О.В., Лобач Н.В. Педагогічна технологія візуалізації навчальної інформації. Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова. 2018. №62. С.180-183.
4. N. Karjanto. Teaching Mathematical Modeling In a Sustainability Context. The UMAP Journal 45.2. 2024. URL:https://www-comap-com.translate.goog/membership/free-student-esources/item/teaching-mathematical-modeling-in-a-sustainability-context?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq

Information about the author:

Vdovychenko Irina Nikiforivna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department

of Computer Systems and Networks,

Kryvyi Rih National University,

11, Vitaly Matusevich str., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine

ЕНТРОПІЙНО-ТОПОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ

Волошин В. С., Кленін О. В.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-21>

Вступ

Сучасні моделі складних систем дедалі частіше потребують виходу за межі класичних адитивних та орієнтовних уявлень^{1,2,3}. Багатокомпонентні складні системи – техногенні, природні, штучні та гібридні – характеризуються нелінійними взаємодіями, ієрархічністю, а також конкуренцією процесів самоорганізації та дезорганізації. За таких умов навіть нові ентропійно-матричні моделі⁴ виявляються недостатніми для опису подібних систем, зокрема через те, що перехресні взаємодії в топологічних схемах, як правило, зводяться до множинних і несумірних відношень, внески окремих (наприклад, термодинамічних) властивостей системи можуть мати протилежні знаки, а їх інтегральні характеристики залежать від обраного способу аналізу.

Ентропійний аналіз, доповнений топологічними методами, дає змогу виявляти приховані закономірності самоорганізації, компенсації та структурної інверсії, які не спостерігаються в традиційних матричних моделях. Запропонована автором раніше шарувата модель двокомпонентних систем⁴ на основі ентропійно-структурованих матриць суміжності в цій роботі геометризується у вигляді двовимірної топологічної моделі, зокрема циліндра. Робота спрямована на строгу формалізацію переходу від цієї орієнтовної поверхні до неорієнтовної, співвідносно, наприклад,

¹ Kivelä M., Arenas A., Barthelemy M. at all. Multilayer Networks. *Physics Reports*, Vol.544, Issues 1-2, 2014. pp.1-12

² Jaynes E. T. Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*, Vol. 106, No. 4, 1957, P. 622.

³ Munkres J.R. Topology. Prentice Hall, *Upper Saddle River*, 2000, pp. 122-125.

⁴ Волошин В. С., Ткаленко І. А. Методика оцінки ефективності опосередкованих компліментарних систем. Зб. праць VII науково-практ. конф. «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації». ПІМЕ ім. Пухова, Київ, 2025. С. 51.

із властивостями неорієнтовних розшарувань включає деякі топологічні поверхні, а також на введення математичного оператора, що описує знакову інверсію ентропійних внесків у розвитку складної системи. Стандартний арсенал при класифікації таких двовимірних многовидів під час побудови неорієнтовних розшарувань включає топологічні поверхні, зокрема «пляшку Кляйна» (Klein bottle)⁵, крос-кап (cross-cap) – локальну модель «вкладки» проєктивної площини⁶, а також смуги з непарною кількістю півобертів як сімейство антиперіодичних за знаком смуг.

Цю роботу присвячено дослідженню складних багатокомпонентних динамічних систем за допомогою узагальненої ентропійно-топологічної моделі багатокомпонентних складних систем на основі вже отриманих закономірностей і підходів до аналізу двокомпонентних систем. Для цього запроваджується формалізований підхід із використанням послідовних багатовимірних матриць суміжності та інцидентності як похідних моделей гіперграфів і симпліціальних комплексів. Показано, що ентропійна декомпозиція за ортогональними властивостями приводить до природної інтерпретації таких систем у вигляді багатовимірних циліндричних розшарувань. За наявності антиперіодичних знакових умов доведено необхідність переходу до неорієнтовних топологій, які узагальнюють різні моделі згаданих вище топологічних поверхонь для багатовимірних випадків. Уведено оператор багатовимірної знакової інверсії, пов'язаний із глобальною топологією простору станів системи.

1. Ентропійно-топологічна модель простих двокомпонентних систем

Матеріали та методи. Перш ніж перейти до розв'язання узагальненої задачі щодо основного предмета дослідження – багатокомпонентних складних систем, – розглянемо простіші, двокомпонентні системи з метою апробації на них базових математичних і топологічних механізмів опису та аналізу з подальшим перенесенням отриманих результатів на головний об'єкт дослідження⁷.

Методологічною основою дослідження є метод аналізу складних систем за допомогою ентропійно структурованих матриць суміжності як похідної моделі опису їх полікомпонентності. Базовим обчислювальним ядром моделі є ентропійно-насичена багатовимірна матриця суміжності. Концептуальною основою моделі виступає багатшаровість

⁵ Hatcher A. *Algebraic Topology*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002. pp. 101–114.

⁶ Spanier E.H. *Algebraic Topology*. McGraw-Hill, New York, 1966. pp. 312–318

⁷ Edelsbrunner H., Harer J. *Computational Topology: An Introduction*. American Mathematical Society, Providence, 2010. pp. 124–125.

багатокомпонентної системи та суперпозиційність кінцевої ентропії, що забезпечує варіабельність системи й багатоваріантність можливих рішень. Це досягається шляхом покрокового визначення ентропії кожного вузла матриці суміжності за заданими властивостями системи, зокрема: структурованістю, інформаційною насиченістю, функціональністю, фізико-хімічними характеристиками, поверхневими явищами (включно з надсистемою), здатністю до термодинамічної нерівноважності та кінетичності, тощо – залежно від природи конкретної системи.

Результати математичного моделювання ентропійно структурованих багатовимірних матриць суміжності та запропонованого методу мінімаксних функцій було зіставлено з відомими складами металургійних рециклінгових брикетів, опублікованими у фаховій науковій літературі⁸.

Вихідна постановка задачі. Розглянемо множину вихідних компонентів $\{b_p\}$, $p = 1, \dots, P$, з яких формуються двокомпонентні системи вигляду $b_{(p,q)}$, $p \neq q$. Найпростіша двокомпонентна система $b_{(p,q)}$ інтерпретується як якісно новий об'єкт, що володіє власними властивостями, які не зводяться до простого підсумовування властивостей окремих компонентів. У зв'язку з цим множина

вихідних компонентів і множина двокомпонентних систем вважаються логічно та онтологічно різними.

Взаємодії між компонентами описуються квадратною симетричною матрицею суміжності, в якій ураховуються лише недіагональні елементи $p \neq q$, діагональні елементи $b_{(p,p)}$ виключаються як такі, що не відповідають поняттю системи. При цьому зберігається симетрія ролей компонентів $b_{(p,q)} = b_{(q,p)}$. Кожна комірка матриці у вигляді $b_{(p,q)}$ характеризується цілком визначеною якістю – власною інтегральною ентропією $S_{(p,q)}^{(i)total}$ та відповідною зміною ентропії

$$\pm \Delta S_{p,q}^{(i)} = S_{(p,q)}^{(i)total} - (S_p^{(i)} + S_q^{(i)}), \quad (1)$$

яка відповідає переходу від стану окремих компонентів до стану двокомпонентної системи. Знак «+» у цьому випадку відповідає зростанню інтегральної ентропії системи, тоді як знак «-» означає зниження інтегральної ентропії системи. Матриця суміжності такої системи може бути подана в наступному вигляді

⁸ Волошин В. С., Ткаленко І. А. Методика оцінки взаємодії металургійних відходів при їх рециклінгу. Вчені записки Таврійського університету ім. В. І. Вернадського. Т.36(75), № 4, Ч.1, 2025. С.193.

b_p / b_q	b_1	b_2	...	b_p	...
b_1	$b_{1,1}$	$b_{2,1}, S_{2,1},$ $\pm \Delta S_{2,1}$	...	$b_{p,1}, S_{p,1},$ $\pm \Delta S_{p,1}$	...
b_2	$b_{1,2}, S_{1,2},$ $\pm \Delta S_{1,2}$	$b_{2,2}$	...	$b_{p,2}, S_{p,2},$ $\pm \Delta S_{p,2}$	...
...
b_p	$b_{1,p}, S_{1,p},$ $\pm \Delta S_{1,p}$	...	...	$b_{p,q}$	...
...

Інтегральна ентропія кожної комірки $b_{(p,q)}$ двокомпонентної системи має суперпозиційний характер і обчислюється як

$$S_{(p,q)}^{total} = \sum S_{(p,q)}^i, \quad (2)$$

де індекс i позначає ортогональні шари властивостей системи, що відповідають різним аспектам її організації, зокрема функціональному, компонентному, конфігураційному, інформаційному, структурному, термодинамічному (ентропія змішування), фізико-хімічному, геометричному та іншим ознакам (якостям) залежно від природи самої системи.

Такий підхід повністю відповідає концепції узагальненої ентропії, узгоджується з принципом Джейнса (*MaxEnt*) і є методологічно обґрунтованим для аналізу складних техногенних і природних систем. Аналогічно визначається зміна ентропії під час переходу від окремих компонентів до системи:

$$\Delta S_{(p,q)}^{total} = S_{(p,q)}^{total} - (S_p + S_q) = \sum_{i=1}^N \Delta S_{(p,q)}^i. \quad (3)$$

Знак кожної величини $\Delta S_{(p,q)}^i$ інтерпретується таким чином:

$\Delta S_{(p,q)}^i > 0$ – опосередкована дезорганізація за i -ю властивістю;

$\Delta S_{(p,q)}^i < 0$ – опосередкована самоорганізація за i -ю властивістю.

Важливо підкреслити, що для однієї й тієї самої системи допускається одночасне співіснування додатних і від'ємних внесків за різними ортогональними властивостями.

Таким чином, сутність предмета дослідження – а саме двокомпонентних систем – пов’язується не лише з ієрархічними взаємодіями, що описуються шаруватими матрицями суміжності, коли кожен аналітичний «шар» взаємодіє з параметрами інших шарів, а й із топологічними закономірностями, які інтегральна ентропія вносить у систему. Слід вважати, що такі закономірності формуються в складній системі як її внутрішні властивостями – через унікальні для неї величини $\Delta S_{(p,q)}^i$, так і зовнішніми впливами, різноманіття яких практично неможливо повністю врахувати для будь-якої складної системи.

Запропонована методика дослідження дала змогу розширити область застосування від двовимірних матриць суміжності для моделей двокомпонентних систем до багатовимірних матриць для моделей багатокомпонентних систем – залежно від компонентності вихідної складної системи.

Аналіз значного обсягу вихідної інформації, що стосується дослідження багатокомпонентних матриць суміжності, а також очевидна неоднозначність поведінки ентропії $S_{(p,q)}^i$, як смислового наповнювача багатовимірних матриць суміжності, у поєднанні зі складнощами, пов’язаними з відповідними розрахунками, зумовлюють необхідність застосування до них закономірностей неорієнтованих просторів. Зокрема, це стосується поняття «носія системи» як узагальненого показника її складності.

Під «носієм системи» будемо розуміти будь-яке опосередковане середовище (матеріальне або абстрактне), яке задає простір можливих станів системи, причому її складність може бути кількісно оцінена через відповідну форму складових інтегральної ентропії (2) залежно від ступеня структурної впорядкованості системи (таблиця 1).

Таблиця 1

Зіставлення «носія системи» з її термодинамічними та структурними властивостями

Тип носія	Предмет носія	Зв’язана форма ентропії	Вплив на складність
Фізичний носій	Матеріал, енергія. Фізичне середовище,	Термодинамічна ентропія	Задає фізичні обмеження та стійкість складної системи
Інформаційний носій	Пам’ять, код, дані ДНК, маш код, нейронні паттерни	Інформаційна ентропія Шеннона	Чим вище різноманітність станів, що кодуються, тим вище потенційна складність

Продовження таблиці 1

Структурний носій	Мережа зв'язків, топологія, архітектура (графи ієрархічної мережі)	Структурна ентропія (ентропія неорієнтованого графу)	Визнає складність взаємодій, емерджентність
Динамічний носій	Закони зміни станів, динамічні процеси	Ентропія поведінки (динамічна ентропія)	Складна динаміка підвищує непередбачуваність і варіативність
Функціональний носій	Функції, алгоритми, протоколи правила	Функціональна ентропія	Підвищують кількість можливих функцій

Кількість ступенів свободи умовного «носія» безпосередньо впливає на складність поведінки системи. У цьому випадку складність є пропорційною кількості можливих станів. Неоднорідність умовного «носія» створює можливості для формування складних інтегративних механізмів. При цьому зростає структурна складність (наявність багатьох різнорідних частин, різних типів зв'язків, ускладненої функціональності). Складність «носія» визначає мінімальну складність моделі, здатної адекватно його описувати. Складність системи є пропорційною мінімальній довжині її моделі (за аналогією з колмогорівською алгоритмічною складністю). Тобто складний носій робить прості моделі недостатніми, а отже, сама система представляється, як складна.

Таким чином, «носії системи» може слугувати показником її складності через ентропійні параметри, зокрема для S_{total} (2):

- він може задавати кількість ступенів свободи S_{surf} ;
- визначати множину можливих структурних станів S^{comp} ;
- виступати інформаційним носієм S_{conf} через зв'язок із формулою

Шеннона;

- вимагати складних механізмів керування та взаємодії;
- неминуче ускладнювати модель системи та допускати складні динамічні режими (нелінійність, емерджентність) S_{proc} .

«Носій системи» визначає обмеження та можливості системи: енергетичні, інформаційні, структурні, функціональні, еволюційні. У кожному з цих випадків можна оцінювати відповідну форму ентропії – термодинамічну, інформаційну, структурну, поведінкову, еволюційну.

Для більш точного розуміння роботи моделі розглянемо її поведінку на прикладі двокomпонентних систем та їх відображення у двовимірних матрицях суміжності.

Якщо для кожного індексу i (властивості-шару) будується власна двовимірна матриця суміжності, що містить значення $\Delta S_{(p,q)}^i$

, то кожна з таких матриць матиме однакову топологію зв'язності, тобто ідентичний набір допустимих пар (p, q) , відрізняючись лише величинами ентропійних внесків, у тому числі, з боку «носія системи». Сукупність таких матриць утворює шарувату ентропійну структуру, вбудовану в надсистему та природно інтерпретовану як багатовимірний багатокomпонентний об'єкт.

Розглянемо множину двокомпонентних систем $b_{(p,q)}, p \neq q$, та множину ортогональних ентропійних внесків $S_{(p,q)}^i$, індексованих їх властивостями (шарами) $i=1, \dots, N$, у вигляді топологічної моделі шаруватої ентропійної структури у формі циліндра. Параметричне подання циліндра як «носія системи» має вигляд

$$C = \{(x, i) \mid x \in X, i \in [0, N]\}, \quad (4)$$

де X – дискретна множина двокомпонентних систем $b_{p,q}$, а координата її «носія системи» відповідає порядку ортогонального ентропійного внеску.

На рис. 1 подано відповідну шарувату ентропійну матрицю суміжності, яка геометрично є еквівалентною циліндричній поверхні. Періодичність знакової структури за координатою шарів забезпечує глобальну орієнтованість та впорядкованість ентропійних внесків. На поверхні циліндра завжди визначена функція знаку зміни ентропії

$$\sigma: C \rightarrow \{-1, +1\} = \text{sign}(\Delta S_{(p,q)}^i) \in \{\pm\}. \quad (5)$$

Такий циліндр є орієнтовною поверхнею, оскільки для нього існує глобально неперервне поле нормалей, і під час обходу замкненої траєкторії орієнтація системи зберігається.

Розгортка такої циліндричної поверхні (див. рис. 1) на площину є еквівалентною розгляду прямокутної області $\mathcal{R} = X \times [0, N]$. Для циліндра ідентифікація граничних ліній має вигляд: $(x, 0) \sim (x, N)$. Такий варіант аналізу системи є коректним за умови плавної та двовимірної орієнтації параметрів системи (у цьому випадку – $\Delta S_{(p,q)}^i$ для кожної наступної властивості-шару).

Ми також маємо право розглядати випадок, коли має місце зміна знаку $\text{sign}(\Delta S_{(p,q)}^i)(\pm)$. Це є особливим випадком у стані інтегральної ентропії конкретної системи $b_{(p,q)}$, за якого її складові змінюють свою поведінку на

користь різко протилежного знаку. Наприклад, якщо для знакової функції виконується умова

$$\sigma\{x, 0\} = -\sigma(x, N), \quad (6)$$

то класична циліндрична ідентифікація «носія системи» стає топологічно некоректною, оскільки порушується узгодженість орієнтації знаку під час замикання системи.

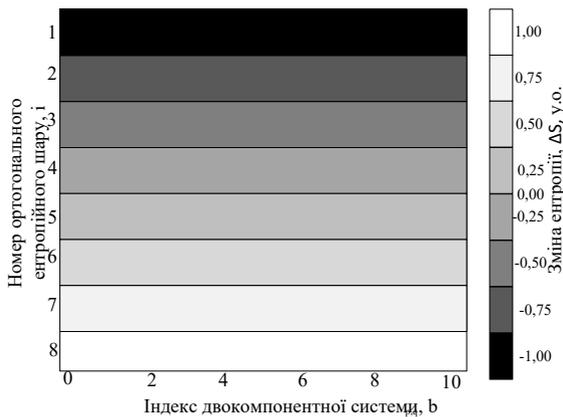


Рис. 1. Багатошарова циліндрична ентропійна структура (орієнтований варіант)

Розгортка поверхні циліндра на площину в цьому випадку призводить до появи матриці інцидентності, рядки якої відповідають ортогональним ентропійним внескам (властивостям-шарам) i , а стовпці – двокомпонентним системам $b_{(p,q)}$.

Ілюстрація табличної форми (фактологічної моделі) у вигляді топологічної циліндричної структури наведена нижче. Якщо такий циліндр розгорнути на площину, отримаємо матрицю інцидентності як похідну від початкової матриці суміжності типу

$b_{p,q}$ $\pm \Delta S_{p,q}^{\text{total}}$	$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	...	$b_{p,q}$	...	$b_{p,Q}$
$\pm S_{1,1}^{\text{total}}$	$+\Delta S_{1,1}^{\text{total}} *$	$+\Delta S_{1,2}^{\text{total}} *$	...	$-\Delta S_{p,q}^{\text{total}} *$	...	$+\Delta S_{p,Q}^{\text{total}} *$

$\pm\Delta S_{p,q}^{i=1}$	$-\Delta S_{1,1}^{i=1} *$	$+\Delta S_{1,2}^{i=1} *$	...	$-\Delta S_{p,q}^i$	...	$-\Delta S_{p,Q}^{i=N}$
...
$\pm\Delta S_{p,q}^i$						
...
$\pm\Delta S_{p,q}^{i=N}$	$+\Delta S_{1,1}^{i=N} *$	$-\Delta S_{1,2}^{i=N}$	...	$+\Delta S_{p,q}^{i=N}$	...	$+\Delta S_{p,Q}^{i=N}$

Тут позначка (*) вказує на оціночне значення за знаком $\pm\Delta S$. У матриці інцидентності можна не наводити числові значення ΔS , обмежуючись лише топологічним знаком: «+» або «-». Якщо для такої матриці враховувати виключно її якісний аспект, то вона набуває топологічної форми розгорнутого циліндра такого вигляду

$b_{p,q}$ $\pm\Delta S_{p,q}^{i=1,1,N}$	$b_{1,1}$	$b_{1,2}$	...	$b_{p,q}$	...	$b_{p,Q}$
$S_{1,1}^{total}$	Зростає	Зростає	...	Знижується	...	Зростає
$\pm\Delta S_{p,q}^{i=1}$	-	+	...	-	...	-
...
$\pm\Delta S_{p,q}^i$						
...
$\pm\Delta S_{p,q}^{i=N}$	+	-	...	+	...	+

де знаком «+» позначені комірки, у яких відбувається зростання інтегральної ентропії $S_{p,q}^{total}$, а зміна ентропії її i -х складових $\pm\Delta S_{p,q}^i$ є додатною; натомість у комірках зі знаком «-» спостерігається зниження інтегральної ентропії, а зміна ентропії її i -х складових є від'ємною.

У поданій формі використовуються виключно знаки без числових значень визначальних параметрів, чим підкреслюється топологічний характер аналізу. Інтерпретація рядків як інтегрального ефекту від $\pm\Delta S_{p,q}^{total}$, а також окремих ортогональних внесків $\pm\Delta S_{p,q}^i$, повністю узгоджується з раніше прийнятою методикою декомпозиції ентропії та є коректним підходом для виявлення областей самоорганізації й дезорганізації в системі, а також для топологічної класифікації станів.

На рис. 2 показано поведінку знакової функції ентропійного внеску під час обходу замкненої траєкторії на орієнтовній поверхні. Початкове та кінцеве значення збігаються, що відображає відсутність топологічної інверсії. З огляду на те, що конфігурація матриці інцидентності може

містити цілі області, у яких значення знаків $\pm\Delta S_{p,q}^i$ у комірках є додатними або, навпаки, від'ємними – залежно від властивостей конкретної двокомпонентної системи, – можна очікувати, що така топологія поєднується із закономірностями неорієнтованих топологічних систем та їх властивістю антиперіодичності. У цьому випадку під час руху вздовж умовного скрученого циліндра орієнтація (у даному випадку за знаками комірки) змінюється на протилежну. Така інтерпретація може забезпечити нові описи властивостей і закономірностей для кожної з вихідних двокомпонентних систем.

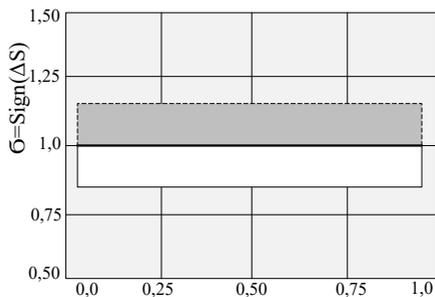


Рис. 2. Збереження знаку ентропійного внеску під час обходу замкненої траєкторії на орієнтовній циліндричній поверхні моделі (після обходу фундаментального циклу $(\sigma(1) = \sigma(0))$)

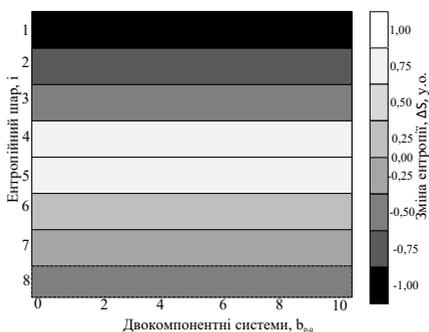


Рис. 3. Розгортка інверсного циліндра (прямокутна ентропійна область) та антиперіодичність знакової функції як топологічна некоректність для циліндра

Інверсна розгортка циліндра у прямокутну область демонструє порушення знакової узгодженості за антиперіодичними граничними умовами. Така конфігурація є несумісною з циліндричною ідентифікацією та потребує зміни топології (рис. 3).

Строгий перехід до неорієнтованих топологічних моделей відбувається у випадку, коли в матриці інцидентності формуються протяжні області зі зміненими та стійкими знаковими конфігураціями. У такій ситуації виникає необхідність їх інтерпретації в термінах неорієнтовних поверхонь. Зокрема, за умови, що під час руху вздовж умовної траєкторії по поверхні циліндра відбувається зміна орієнтації, або інверсія знаку $sign(\Delta S_{(p,q)}^i) \in \{\pm\}$, або ж модель природним чином узгоджується з топологією стрічки Мьобіуса (як більш наочного прикладу), що володіє властивістю антиперіодичності.

У цьому випадку знак ентропійного внеску стає локально залежним від його шляху, а система демонструє не класичну адитивність і топологічно зумовлену ентропійну спряженість, а інверсну поведінку з вираженою антиперіодичністю за шарами (властивостями системи). Це вказує на ідентифікацію деяких топологічних поверхней із властивостями неорієнтовних розшарувань $(x,0) \sim (\tau(x), N)$, де $\tau: X \rightarrow X$ – тотожне або симетричне відображення (у найпростішому випадку $\tau(x) = x$) з обов'язковою інверсією орієнтації.

Таке топологічне просторове утворення, позначене як $M = \mathcal{R} / \sim$, є неорієтовним і гомеоморфним до відомих моделей на кшталт стрічки Мьобіуса. Отже, топологічна поверхня постає тут не як геометрична метафора, а як строго необхідний топологічний об'єкт, що забезпечує узгодженість знакової структури параметрів системи за антиперіодичних умов. Система після одного повного обходу надає $\dot{A} \rightarrow -\dot{A}$, а після другого повного обходу повертається до $\dot{A} \rightarrow \dot{A}$. Але можуть бути і повторні шляхи. При цьому простір M реалізується не як локальна операція, а як глобальний топологічний ефект.

Профіль ентропійного внеску вздовж координати шарів задовольняє умовам антиперіодичності, за якої значення на протилежних межах мають протилежні знаки (рис. 4). Це є формальною умовою неорієтовної топології.

З урахуванням того, що вихідні дані для такого аналізу передбачали знеособлені матриці інцидентності, які не включають процедурних параметрів аналізованої системи, введемо оператор знакової інверсії, визначений як

$$\mathcal{L}: \Delta S_{(p,q)}^i \mapsto -\Delta S_{(p,q)}^i. \quad (7)$$

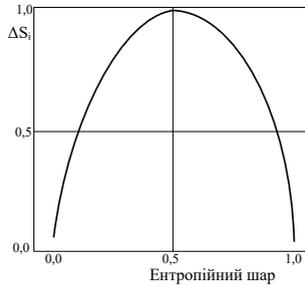


Рис. 4. Антиперіодичність ентропійного внеску як умова неорієнтовної топології (ключова умова інверсності системи)

У знаковому поданні: $\mathcal{L}:(\sigma) \mapsto -\sigma$. Оператор \mathcal{L} має такі властивості:

- інволютивність, $\mathcal{L}^2 = \text{Id}$;
- топологічна зумовленість, оператор \mathcal{L} реалізується під час обходу фундаментального циклу неорієнтовної поверхні (наприклад, модель «вкладки» проективної площини, смуги з непарною кількістю півобертів та ін.);
- нелокальність, дія оператора визначається глобальною траєкторією, а не локальним станом окремої комірки.

Запропонований підхід дає змогу поєднати ентропійний аналіз і топологічне моделювання, забезпечує строгу математичну інтерпретацію для багатоконпонентних складних систем широкого класу, дозволяє масштабувати модель від двокомпонентних до багатоконпонентних систем за єдиними закономірностями та виявляти приховані механізми самоорганізації, недоступні в класичних адитивних моделях.

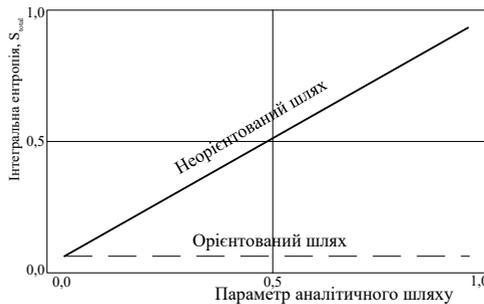


Рис. 5. Залежність інтегральної ентропії системи від топології шляху аналізу

Застосування знакових матриць інцидентності та неорієнтовних поверхонь відкриває перспективи якісно нового опису складних систем, зокрема техногенної та природничо-наукової природи. Порівняння поведінки інтегральної ентропії для орієнтовного та неорієнтовного шляхів аналізу показує, що в другому випадку інтегральна ентропія залежить від глобальної топологічної траєкторії, а не лише від стану системи (рис. 5). Таким чином, інверсія знаку ентропійного внеску є не обчислювальним, а топологічним ефектом.

Отримані результати дозволяють по-новому інтерпретувати процеси самоорганізації та дезорганізації в складних системах. Зокрема, ситуація, коли інтегральна ентропія системи залежить від шляху аналізу, а не лише від її стану, отримує природне пояснення через неорієнтовану одновимірну топологію. Такий підхід є особливо перспективним для дослідження багатокомпонентних складних систем, техногенних ієрархічних систем, систем із конкуруючими механізмами впорядкування тощо.

Таким чином, у роботі чітко показано, що перехід від строго орієнтованих до неорієнтованих ентропійно-топологічних моделей складних систем є математично обґрунтованим і фізично осмисленим, а також допустимим для опису більш складних систем. Введення оператора знакової інверсії розширює клас допустимих моделей і дозволяє враховувати антиперіодичні ефекти, принципово недоступні в орієнтованих просторах.

2. Ентропійно-топологічна модель багатокомпонентних складних систем

У цій частині роботи ми розглядаємо моделі, порівнянні з правилами, викладеними при моделюванні двокомпонентних систем, як похідних від ентропійно-топологічної моделі двокомпонентних систем, заснованих на шарових матрицях суміжності та циліндричній топології з можливим переходом до неорієнтованих топологій. Мета цього дослідження – строго узагальнити цей підхід на багатокомпонентні системи та показати, що використовувана двоїста, за властивостями, топологія природно розширюється до багатовимірних неорієнтованих многовидів.

Розглянемо багатокомпонентні складні системи у їх гіперграфовому представленні⁹. Задаємо множину вихідних компонентів $\mathcal{B} = \{b_1, b_2, \dots, b_p\}$. Багатокомпонентна система порядку k визначається як $b_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}, p_i \neq p_j \dots \neq p_k$.

Таке описання природно відповідає гіперграфу, де вершинами графа є компоненти b_p , а гіперребра – власне багатокомпонентні

⁹ Diestel R. Graph Theory. Springer, Berlin–Heidelberg, 2017. pp.181-190

системи $b_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}$. Це дозволяє принципово розширити парну матрицю суміжності до багатовимірного об'єкта, здатного представляти багатовимірну матрицю суміжності у тензорному записі.

Введемо тензор суміжності порядку k :

$$A_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}, \quad (8)$$

кожен ненульовий елемент якого відповідає існуванню системи $b_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}$. Кожній такій системі співставляється інтегральна ентропія: $S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^{\text{total}} = \sum S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i$, та зміна ентропії

$$\pm \Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^{\text{total}} = S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^{\text{total}} - \sum_j^k S_{p_j}. \quad (9)$$

Приведемо умови збереження ортогональної ентропійної декомпозиції, аналогічні двовимірним системам. Для цього приймемо умову, відповідно до якої індекс шаруватості i зберігає попереднє значення ортогональних вкладок властивостей складної системи, включно зі структурними, інформаційними, конфігураційними, термодинамічними, фізико-хімічними, геометричними та іншими, залежно від особливостей конкретної системи. Таким чином, для кожного i формується тензор ентропійних приростів $\pm \Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i$.

Якщо топологічні обмеження примушують систему перейти в меншу кількість макростанів (звуження інверсійних областей і зниження S_{sys}), то це потребує витрат енергії W , що виділяється в оточення й підвищує ентропію надсистеми (S_{env}) так, що $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{env}} \geq 0$. Формально можна очікувати, що $\Delta S_{\text{env}} \geq \Delta S_{\text{sys}}$.

Таким чином, аналіз топологічної організації має враховувати енергетичний баланс і джерела дисипації (обмін теплом, зовнішня робота) як складову моделі, незважаючи на її безрозмірність.

Розгортка багатовимірної тензорної структури призводить до узагальненої матриці інцидентності, де: стовпці відповідають багатокомпонентним системам $b_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}$, а рядки – ентропійним вкладкам за властивостями системи i . Значення у клітинках матриці – знаки $\text{sign}(\Delta S^i) \in \{+, -\}$, таким чином, щоб модель повністю переходила у топологічно-знакову форму. Найпростіша форма такого переходу представляє багатовимірний ентропійно-структурований циліндр (рис. 6, а). Такий циліндр являє собою орієнтоване ентропійне i -шарування, де підстава відповідає простору багатокомпонентних систем, а вертикальні

шари – ортогональним ентропійним вкладкам. При обході замкнутого шляху знаки ентропійних приростів зберігаються, що відповідає циліндричній ідентифікації.

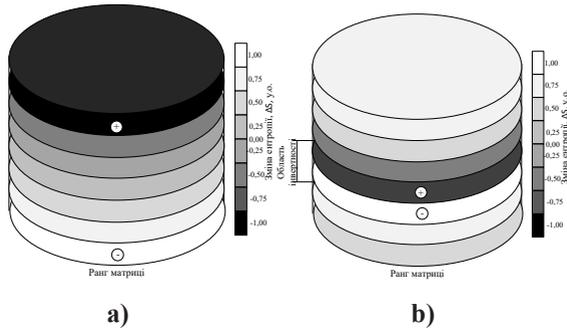


Рис. 6. Профіль знаку ентропії вздовж замкнутого шляху на топологічно орієнтованій поверхні циліндра (а) та в його інверсній області (б)

Розгортка циліндра у прямокутну область відповідає переходу від геометричного розшарування до багатовимірному ($i = 1, 1, N$) матрично-тензорного подання (рис. 6, б). Така форма, як і у випадку двовимірних матриць інцидентності, є еквівалентною узагальненій багатовимірній матриці інцидентності та зручною для аналітичної обробки ентропійних внесків від кожного з i -х шарів. Сукупність тензорів $\pm \Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i$ утворює розшарування, яке описується відображенням

$$\pi : \mathcal{E} \mapsto \mathcal{H}, \tag{10}$$

де база \mathcal{H} – це простір багатокомпонентних систем, а шар – ентропійний простір вкладок i . Таке розшарування є топологічно еквівалентним багатовимірному топологічно орієнтованому циліндру зі збереженням структури зв’язності та знакових характеристик

$$: \mathcal{C}^{(N)} = \mathcal{H} \times [0, 1]^N. \tag{11}$$

Антиперіодичність у системі (рис. 7) проявляється в тому, що після обходу замкненої траєкторії ентропійний внесок змінює знак $sign(\Delta S^i) \in \{+, -\}$ і система набуває ознак неорієнтованої поведінки. Така поведінка стає несумісною з двобічною, топологічно орієнтовною

циліндричною ідентифікацією та вказує на необхідність переходу до неорієнтовної топології, а також на обмеженість кількості незалежних станів системи. Таким чином, сама топологія накладає структурні обмеження, які проявляються як зменшення кількості ступенів свободи і, відповідно, як зміна статистичних властивостей ентропії.

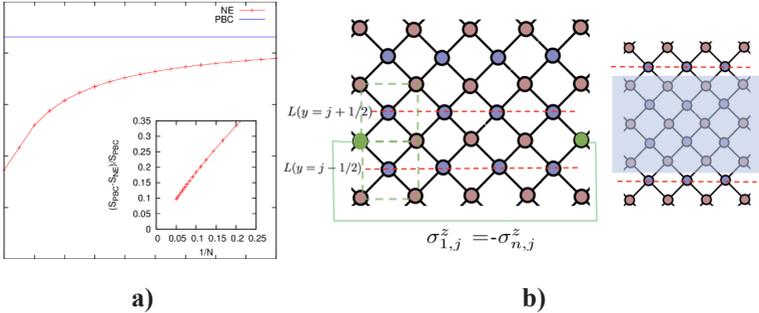


Рис. 7. Антиперіодичний профіль ентропійного внеску для багатовимірної багатокomпонентної складної системи (a) та її ізингова модель у вигляді прямокутної матриці (b) (за даними роботи¹⁰)

Якщо для деякого набору вкладок при обході замкненого циклу в просторі \mathcal{H} виконується перетворення

$$+\Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i \rightarrow -\Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i, \quad (12)$$

то циліндрична ідентифікація стає неможливою. У цьому випадку виникає неорієнтовне розшарування, яке узагальнює систему на багатовимірний випадок, зокрема, на нелінійні локальні крос-капи або ж сімейство антиперіодичних поверхней за знаком смуг над гіперграфом. Формально це подається у вигляді

$$(x, i) \sim (x, 1-i), \text{ де } i \in \{0, 1\}^N. \quad (13)$$

Для оцінювання об'єктивності такого переходу в межах знеособлених матриць інцидентності введемо поняття оператора переходу

$$\mathcal{L} : \Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i \mapsto -\Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i, \quad (14)$$

¹⁰ Enderton H.B. Elements of Set Theory. Academic Press, New York, 1977, pp. 67-69.

$$\mathcal{L} : \Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i \mapsto -\Delta S_{(p_1, p_2, \dots, p_k)}^i, \quad (15)$$

який володіє властивостями інволютивності ($\mathcal{L}^2 = \text{Id}$), нелокальності та топологічної зумовленості. У багатоконпонентних складних системах такий оператор \mathcal{L} діє не на окрему комірку, а на цілі області комірок у підпросторі тензора суміжності i , відповідно, тензора інцидентності.

Отримана в такий спосіб однобічність антиперіодичної топологічної моделі призводить до зміни характеру термодинамічних траєкторій системи, що еволюціонує вздовж такої поверхні. Система зазнає додаткового «скручування» у фазовому просторі, що може як посилювати, так і послаблювати хаотизацію, змінювати ступінь перемішування та формувати альтернативні шляхи самоорганізації системи порівняно зі звичайними двобічними поверхнями (рис. 8, а). Тому швидкість зростання термодинамічної неупорядкованості або, навпаки, схильність до формування впорядкованих структур визначається не лише внутрішніми (у даному випадку – термодинамічними) взаємодіями складної системи, але й її глобальними топологічними властивостями. Така модель є прикладом того, як суто геометричні та топологічні властивості простору можуть керувати ентропійними закономірностями складних систем.

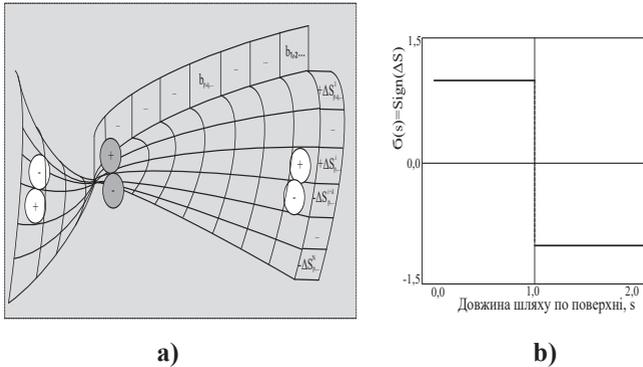


Рис. 8. Розгортка топологічно ентропійно-інцидентної області циліндра (а) та інволютивність оператора знакової інверсії за першим параметром обходу (б)

Наприклад, за одного повного шляху обходу траєкторії аперіодичного циліндра (рис. 8, б) знак ентропійного внеску для цілого тензорного підпростору інвертується, а відновлення початкового знаку відбувається лише після подвійного циклу, аналогічно до випадку неорієнтовних

розшарувань на топологічних поверхнях, зокрема, стрічки Мьобіуса (рис. 9). Такий графік наочно демонструє дію оператора багатовимірної знакової інверсії, зумовленої глобальною неорієнтовністю простору станів.

Отримана таким чином модель має низку переваг, оскільки, поєднуючи гіперграфи, тензори, топологію та термодинаміку, вона пояснює співіснування процесів самоорганізації й дезорганізації та демонструє, що ентропія складної системи є не лише станозалежною, а й траєкторно залежною величиною. Слід особливо підкреслити, що неорієнтовність у цьому випадку є не тільки суто математичною описовістю, а й відображає багатофакторність властивостей, фізичну та інформаційну неоднозначність складних систем. Запропонована

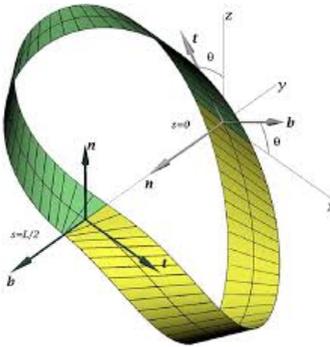


Рис. 9. Ілюстративний приклад багатовимірної знакової інверсії в неорієнтованому просторі з антиперіодичним станом (за даними роботи¹¹)

модель природно застосовна до широкого класу складних багатокомпонентних систем і була апробована на системах виробництва багатокомпонентних сумішей різного призначення, у технологіях рециклінгу металургійних відходів, під час дослідження техногенних екосистем широкого класу, а також у людино-машинних системах тощо.

3. Природне прикладне значення моделі

Модель дає змогу відрізнити якісно реальну системну стійкість складної системи від її ілюзії, що виникає внаслідок адитивної компенсації ентропійних знаків і топологічної неоднозначності структури.

¹¹ Enderton H.B. Elements of Set Theory. *Academic Press*, New York, 1977, p. 67.

Прикладне та практичне застосування ентропійно-топологічної моделі багатокомпонентних складних систем полягає у її використанні для аналізу там, де неможливо коректно застосування методів адитивної ентропії, усереднених показників або локальних критеріїв оптимальності. Модель дозволяє виявляти приховані антагоністичні ефекти, коли поліпшення за однією властивістю призводить до погіршення системи за іншою (що демонструється на основі ентропійно-матричного аналізу складних систем); визначає шляхозалежність інтегральних характеристик (коли результат залежить від порядку та способу аналізу, змішування, навантаження); формально розрізняє стійку самоорганізацію та псевдоупорядкування, що виникає внаслідок компенсації знаків змін ентропії. Модель дає змогу працювати з системами, в яких результуючий знак ефекту ($\pm\Delta S_{(p,q,\dots)}^i$) є важливішим за величину його абсолютного значення ($\Delta S_{(p,q,\dots)}^i$). Це робить модель інструментом діагностики, а не лише опису.

Для будь-якої практичної системи модель застосовується за єдиною універсальною прикладною схемою.

Формується гіперграф системи, у якому компоненти виступають вершинами графа, а реальні поєднання компонентів – гіперребрами.

Будується тензор суміжності з дотриманням умови: якщо елемент є ненульовим, то відповідна система реально існує або може бути реалізована.

Виконується ортогональна ентропійна декомпозиція (структурна, енергетична, інформаційна, хімічна, геометрична тощо).

Аналізується знакова структура ($\pm\Delta S_{(p,q,\dots)}^i$):

– періодичність відповідає циліндричній топології та якісному аналізу;

– антиперіодичність дає змогу використовувати закономірності неорієнтованої топології.

Формується практичний висновок щодо стану системи, а саме: її стійкості, чутливості до шляху зміни ентропії, а також необхідності та можливостей керування нею на рівні конфігурації, а не окремих параметрів.

По суті, чим вищою є розмірність комбінації складної системи, тим швидше зростає частка її знаково-симетричних (фрустрованих) класів, для яких орієнтована топологія стає нестійкою. Тому парні матриці майже завжди мають циліндричну топологію, тоді як гіперсистеми майже неминуче описуються як антиперіодичні або як їх узагальнення. За таких умов інтегральна ентропія стає шляхозалежною величиною. Саме тому в прикладному аналізі не перебираються всі можливі конфігурації,

а відразу визначається їхній клас знакової симетрії. На цій основі вже можна прогнозувати топологію, стійкість і допустимість застосування адитивних критеріїв.

Розглянемо декілька прикладів прикладного аналізу (табл. 2).

Приклад 1. Багатокомпонентні промислові суміші (металургія, відходи).

Завдання. Оцінити, чи призведе додавання нового компонента до реального покращення кінцевого продукту рециклінгу – металургійної суміші.

Класичний підхід передбачає порівняння систем (металургійних сумішей для повторного використання в межах рециклінгу) за їхніми міцнісними характеристиками, густиною, виходом придатної продукції.

У запропонованій методиці гіперребра розглядаються як реальні композиції, а внесок i -го шару відображає хімічну стабільність, структуру, енергію активації тощо та фіксується, зокрема, у випадках, коли $\Delta S_{4,1,7}^{struct} > 0$ или $\Delta S_{1,3,9}^{chem} < 0$. Отриманий результат для тривимірної матриці суміжності $b_{(4,1,7)}$ та $b_{(1,3,9)}$ вказує на рівень топологічної неорієнтованості системи ($sign\Delta S^i \{\pm\}$), а отже дозволяє зробити висновок про залежність властивостей суміші від порядку змішування та умов її отримання.

Практичний висновок полягає у необхідності жорсткого контролю технології підготовки суміші, що в цьому випадку є більш критичним, ніж безпосередній підбір складу. Оптимізація за усередненими показниками, навпаки, призводить до браку.

Приклад 2. Техногенні екосистеми та нові потоки відходів.

Завдання. Визначити, чи сприяє посилення інтеграції нових потоків відходів загальній стійкості всієї екосистеми.

Аналіз за запропонованою моделлю передбачає побудову гіперграфа, у якому вершинами є спільно функціонуючі потоки, а ребрами – ентропійні вкладки: енергетична, екологічна, логістична тощо. При цьому, наприклад, у системі виявляється антиперіодичність екологічного внеску, тобто поява нових потоків відходоутворення призводить до інверсної поведінки системи для окремих потоків із $\Delta S_{4,1,7}^{conf} > 0$, $\Delta S_{3,6,11}^{proc} < 0$.

Результат. Аналіз за інверсними моделями показує, що інтегральна ентропія потоків відходоутворення як багатокомпонентних систем залежить від маршруту перерозподілу цих потоків. Подальший практичний висновок полягає у необхідності оптимізації архітектури зв'язків між потоками відходоутворення, а не дослідження окремих потоків ізольовано.

Приклад 3. Розглянемо людино-машинні та інтелектуальні системи заданої конфігурації.

Таблиця 2

**Вихідні та розрахункові дані щодо аналізу деяких складних систем
ентропійно-топологічним методом**

Гіперграфова тензорна модель	Показники системи
Багатокомпонентні металургійні суміші	
<p>Структурна взаємодія $G_4(9;72)$</p> <p>Хімічна взаємодія $G_4(9;15)$</p> <p>Енергетична взаємодія $G_4(7;7)$</p>	<p>Кількість компонентів в системі</p> $b_p = 9$
	<p>Кількість композицій сумішей в системі</p> $b_{p,q,r,t,\dots} = 36 + 84 + 126 = 246$ <p>(2-, 3-, 4-хмерности)</p>
	<p>Кількість функціональних зв'язків у системі</p> $(b_p b_q \dots) = 20$
	<p>Кількість показників ентропії для контролю</p> $\Delta S_{(p,q,\dots)}^i = 6$
	<p>Значення зміни ентропії в аперіодичних моделях системи: $\Delta S_{4,1,7}^{struct} = +0,78 \text{ y.o.}$,</p> $\Delta S_{1,3,9}^{chem} = -0,54 \text{ y.o.}$
Техногенно залежні екосистеми та потоки відходів	
<p>Енергетична взаємодія $G_4(15;16)$</p> <p>Техногенний вплив $G_4(13;8)$</p> <p>Логістична взаємодія $G_4(10;8)$</p>	<p>Кількість компонентів в системі $b_p = 15$</p>
	<p>Кількість композицій сумішей в системі</p> $b_{p,q,r,t,\dots} = 105 + 455 + 1365 = 1925$ <p>(2-, 3-, 4-хмерности)</p>
	<p>Кількість функціональних зв'язків у системі</p> $(b_p b_q \dots) = 72$
	<p>Кількість показників ентропії для контролю</p> $\Delta S_{(p,q,\dots)}^i = 5$
	<p>Значення зміни ентропії в аперіодичних моделях системи: $\Delta S_{4,1,7}^{conf} = +0,96 \text{ y.o.}$,</p> $\Delta S_{3,6,11}^{proc} = -0,37 \text{ y.o.}$

Людино-машинні системи та AI	
<p>Інформаційна взаємодія $G_8(12;21)$</p> <p>Когнітивна взаємодія $G_8(12;20)$</p> <p>Енергетична взаємодія $G_8(8;16)$</p> <p>Топологічна взаємодія $G_8(9;20)$</p>	Кількість компонентів в системі $b_p = 12$
	Кількість композицій сумішей в системі $b_{p,q,r,t,\dots} = 11044$
	Кількість функціональних зв'язків у системі $(b_p b_q \dots) = 77$
	Кількість показників ентропії для контролю $\Delta S_{(p,q,\dots)}^i = 4$
Значення зміни ентропії в аперіодичних моделях системи: $\Delta S_{3,6,10,11}^{inf} = +0,54 \text{ y.o.}, \Delta S_{1,9,11}^{cogn} = -0,61 \text{ y.o.}$	

Завдання. Оцінити ефект упровадження нового AI-модуля в наявну систему керування.

Прикладний аналіз за наведеною вище схемою ґрунтується на особливостях гіперграфа у вигляді вершин-компонентів: людина, алгоритм, інтерфейс, середовище, та ребер-вкладок у вигляді інформаційної, когнітивної, енергетичної, топологічної та ін. складових системи. Результат такого якісного аналізу дає однозначні знаки $\Delta S_{3,6,10,11}^{inf} > 0, \Delta S_{1,9,11}^{cogn} < 0$, з яких випливає принципово новий висновок про виникнення антиперіодичного топологічного стану в когнітивному просторі системи. Це означає зростання ролі людини в системі під час упровадження нового AI-модуля, а саме: будь-яке підвищення інформаційної ефективності системи супроводжуватиметься зниженням її загальної керованості. У такому разі це вимагатиме не структурних змін у системі, а компенсувальних інтерфейсних рішень з боку людини.

Зведені дані таких досліджень згруповано в таблиці 3.

За наявності 15 компонентів понад 70 % усіх знакових конфігурацій належать до фрустрованих класів $(1-, 1+)$, $(1-, 2+)$, $(2-, 1+)$, $(2-, 2+)$, у яких орієнтовна (циліндрична) топологія стає структурно нестійкою. Це означає, що для систем такої розмірності парні матриці суміжності описують лише незначну частину простору станів, тоді як домінуючими є неорієнтовні топологічні режими. За цих умов ентропія неминуче набуває маршрутної (шляхозалежної) природи.

Таблиця 3

Узагальнені дані щодо класів знакової симетрії для задачі техногенно залежних екосистем та потоків відходів, що їх зумовлюють

Клас знакової симетрії			Структура			Число комбінацій			Знакові стани на комбінацію			Всього Станів		
2D	3D	4D	2D	3D	4D	2D	3D	4D	2D	3D	4D	2D	3D	4D
0-,2+	0-,3+	0-,4+	++	+++	++++	105	455	1365	1	1	1	105	455	1365
1-,1+	1-,2+	1-,3+	+-	++-	+++-	105	455	1365	2	3	4	210	1365	5460
2-,0+	2-,1+	2-,2+	--	+--	++--	105	455	1365	1	3	6	105	1365	8190
-	3-,0+	3-,1+		---	+---		455	1365	4	1	4		455	5460
-		4-,0+			----			1365			1			1365
						105	455	1365		8	16	420	3640	21840

Ми бачимо, що запропонована ентропійно-топологічна модель є практично застосовною в тих випадках, коли складна система включає велику кількість компонентів та їхніх комбінацій, виникає конкуренція механізмів упорядкування, а сама система характеризується високою чутливістю до компонентної конфігурації. Очевидними та типовими сферами застосування є багатокомпонентні матеріали й суміші, перероблення відходів, техногенні екосистеми, складні логістичні мережі, гібридні людино-машинні системи та системи штучного інтелекту. Подібні дослідження можливі також і для інших типів складних систем.

ВИСНОВКИ

1. Запропонована ентропійно-топологічна модель багатокомпонентних складних систем у межах їхнього «носія» заснована на:

- якісному складі багатовимірних матриць суміжності та інцидентності;
- ентропійній ортогональній декомпозиції;
- циліндричних і неорієнтованих розшаруваннях;
- операторі знакової інверсії,

Модель відкриває можливості подальшого розвитку у напрямі одночасної інваріантності: гомологічного опису структури системи та когомологічного розподілу зв'язків і функцій знакових структур та ентропійних потоків.

2. Наведені приклади можливостей моделі для різних складних систем в галузях інженерних, інформаційних та екологічних систем.

АНОТАЦІЯ

У роботі розвивається концепція топологічного аналізу моделей складних систем, побудованих на основі ентропійно структурованих

матриць суміжності в їхній топологічній інтерпретації, та запропоновано строгу формалізацію переходу від циліндричної моделі шаруватих ентропійних матриць суміжності до моделей із неорієнтовною поверхнею. Розгортання циліндра на площину з подальшою ідентифікацією меж демонструє схильність таких матриць з ентропійним наповненням комірок до антиперіодичної орієнтації, а згодом – до матриці інцидентності знакового типу, що допускає інтерпретацію в термінах неорієнтовних поверхонь. Показано, що ентропійна декомпозиція за ортогональними властивостями приводить до природної інтерпретації таких систем у вигляді багатовимірних циліндричних розшарувань та обґрунтовано необхідність переходу до неорієнтовних топологій. Застосування оператора знакової інверсії, який формалізує зміну орієнтації ентропійних внесків уздовж замкнених траєкторій, дає змогу виявляти приховані закономірності самоорганізації та дезорганізації у складних системах, що знаходить застосування в прикладних дослідженнях. Наведено приклади використання запропонованої моделі у складних системах металургії, екології та інформаційних системах.

Література

1. Kivelä M., Arenas A., Barthelemy M. at all. Multilayer Networks. *Physics Reports*, Vol.544, Issues 1-2, 2014. pp.1-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2014.03.001>
2. Jaynes E. T. Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*, Vol. 106, No. 4, 1957, pp. 620–630.
3. Munkres J.R. Topology. Prentice Hall, *Upper Saddle River*, 2000. – 537 p.
4. Волошин В. С., Ткаленко І. А. Методика оцінки ефективності опосередкованих компліментарних систем. Зб. праць VII науково-практ. конф. «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації». ПІМЕ ім. Пухова, Київ, 2025. С. 51-58.
5. Hatcher A. Algebraic Topology, *Cambridge University Press*, Cambridge, 2002. (pp. 101–124.) – 544 p.
6. Spanier E.H. Algebraic Topology. *McGraw-Hill*, New York, 1966. pp. 300–335.
7. Edelsbrunner H., Harer J. Computational Topology: An Introduction. *American Mathematical Society*, Providence, 2010. pp. 120–160.
8. Волошин В. С., Ткаленко І. А. Методика оцінки взаємодії металургійних відходів при їх рециклінгу. Вчені записки Таврійського університету ім. В. І. Вернадського. Т.36(75), № 4, Ч.1, 2025. С.191-199.
9. Diestel R. Graph Theory. *Springer*, Berlin–Heidelberg, 2017 – 428 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53622-3>

10. Enderton H.B. Elements of Set Theory. *Academic Press*, New York, 1977, 262 p.

11. Claude E., Shannon C. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379–656.

Information about the authors:

Voloshyn Vyacheslav Stepanovych,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of energy systems,
Priazovsky State Technical University,
29, Gogolia ave., Dnipro, 49044, Ukraine

Klenin Oleg Volodymyrovych,

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of economics engineering,
Priazovsky State Technical University,
29, Gogolia ave., Dnipro, 49044, Ukraine

**THE HUMAN FACTOR IN ENSURING
THE VIABILITY AND SUSTAINABILITY
OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS**

Mygal G. V.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-22>

INTRODUCTION

In contemporary engineering practice, the concept of sustainability of complex technical systems is traditionally associated primarily with technical characteristics: energy efficiency, resource use, environmental indicators, the level of automation, and technological sophistication. Within the framework of this study, sustainability is considered not as a static characteristic of a technical solution, but as a property of the real use of a system, which is formed through the interaction of technical architecture, design assumptions, and human behaviour during operation. Many systems lose their declared characteristics not due to physical failures or design flaws, but as a result of the specifics of real use. “Green” and formally safe solutions often do not function as intended at the design stage and, over time, may demonstrate reduced effectiveness, the emergence of unsafe operational practices, and gradual degradation of safety. This indicates the need for a broader view of the sustainability of complex technical systems. From this perspective, sustainability appears not only as a set of technical parameters, but as a property of interaction between the technical system, people, and the conditions of its use. In this context, the human is no longer viewed exclusively as a source of errors that should be maximally constrained or replaced by automation, but rather as an active element of the system that determines its actual behaviour in operation.

Complex technical systems, therefore, most often “fail” not at the point where technological capabilities are exhausted, but where real operation begins and the limitations of human capabilities come into play. An energy-efficient system may prove to be unstable in use, intelligent solutions may require excessive cognitive workload, and safety degradation occurs gradually through the adaptations of users and operators to real working conditions. In this context, a human-centred design approach is considered as a tool for ensuring

the long-term effectiveness, safety, and sustainability of complex technical systems, rather than as an auxiliary or secondary element of the engineering process.

Thus, a scientific and practical problem arises related to the mismatch between the declared sustainability characteristics of complex technical systems and their actual behaviour at the operational stage. In contemporary engineering and scientific research, the human factor is predominantly considered in a fragmented manner – as an isolated risk element, a source of errors, or a set of limitations that must be compensated for through technical solutions, automation, or regulations. Such an approach inherits a linear design logic, within which it is assumed that a correctly designed system will function according to its intended purpose regardless of the context of its use.

This work shows that bridging this gap is possible only under the condition of engineering operationalisation of the human factor – not as a set of individual human attributes, but as parameters of “human–system” interaction that can be incorporated into assessment models and design decision-making. Real-world operation demonstrates that system behaviour is shaped not only by technical parameters, but also by the ways in which people interact with the system, their adaptations, compromises, informal practices, and cognitive limitations. It is precisely these processes that often determine the long-term viability of a system or, conversely, the gradual degradation of its safety and effectiveness.

In this sense, the human factor acts not as an external source of disturbances, but as an internal mechanism of the evolution of a complex technical system during operation. Ignoring this mechanism leads to a gap between design assumptions about sustainability and the actual behaviour of systems under real conditions of use. The aim of this work is to substantiate the role of the human factor as a key engineering element in ensuring the safety, sustainability, and viability of complex technical systems, as well as to formulate a human-centred approach to the analysis and design of these systems, within which sustainability is considered not as a set of technical characteristics, but as a property of interaction between the technical system, the human, and the operating conditions.

1. Man as a resource for safety, not a source of errors.

1.1. Traditional engineering concept of a person in a system

Within the classical engineering safety paradigm, the human as part of a technical system was for a long time considered primarily as a risk factor. Such an approach emerged in the context of the development of industrial systems, which were characterised by rigidly defined operating modes, relatively stable operating conditions, and a clear separation between the technical system

and the operator. Within this logic, safety was associated primarily with the reliability of technical components, compliance with regulatory requirements, and the minimisation of the influence of the human factor.

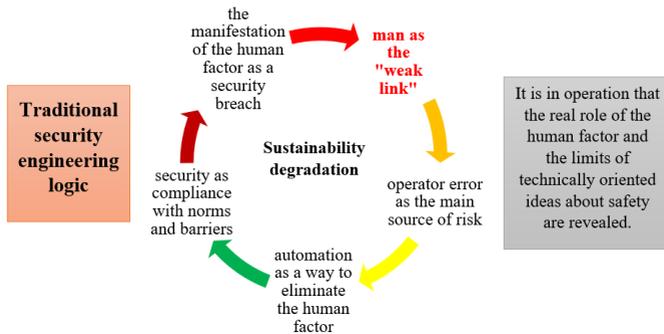


Fig. 1. Idealization of the classical engineering safety paradigm – illustration of the degradation of sustainability due to improper work with the human factor

The central element of this model is the view of the human as the “weak link” of the system. Operator or user errors are interpreted as the primary source of danger, while human behaviour is regarded as unstable, unpredictable, and prone to deviations from prescribed procedures. Accordingly, the task of engineering design is to reduce the dependence of system functioning on human actions or to minimise the space for erroneous decisions. Within this approach, automation is considered the key instrument for improving safety. It is assumed that transferring control functions to technical means makes it possible to eliminate subjective factors, reduce the likelihood of errors, and ensure more stable system operation. The human is thereby gradually shifted to the periphery of the control process, performing the role of an observer or a backup element that intervenes only in the event of failure of automated components. Safety within this paradigm is interpreted as the system’s compliance with established norms, standards, and protective barriers. The primary attention is given to the design of technical and organisational protective measures, the development of instructions, regulations, and procedures, as well as to monitoring their compliance. It is assumed that, under conditions of correct design and proper execution of prescribed actions, the system will function safely.

It is important to emphasise that this model is not the result of an underestimation of the human as a professional. On the contrary, it historically emerged as a pragmatic response to the limited capabilities of early technical

systems and the need to ensure controllability and predictability of processes. However, with the increasing complexity of technical systems, the level of their integration, and the variability of operating conditions, the limitations of this paradigm become increasingly evident. Within the traditional engineering perspective, safety is achieved by minimising human involvement in system operation. It is precisely this assumption – regarding the desirability of eliminating or maximally limiting the human factor – that serves as the starting point for a further rethinking of the role of the human in ensuring the safety of complex technical systems.

1.2. Limitations of the "human as a source of errors" approach in complex technical systems

Despite its historical expediency, the approach in which the human is viewed primarily as a source of errors demonstrates significant limitations under the conditions of functioning of modern complex technical systems. With the increasing levels of complexity, integration, and dynamism of such systems, it becomes evident that their behaviour cannot be fully described by means of formalised procedures and regulations. One of the key problems is that design assumptions regarding operating conditions rarely fully correspond to reality. Complex technical systems operate in changing environments, under conditions of incomplete information, limited time for decision-making, and conflicting goals. Under such conditions, operators and users are forced to constantly adapt, deviate from formally prescribed procedures, and seek compromises between efficiency, safety, and productivity.

Another significant limitation is the effect of latent safety degradation. An exclusive focus on regulatory compliance and formal protective mechanisms creates an illusion of control, while in reality the conditions of system operation or functioning gradually change. Operators develop informal ways of interacting with technology that allow them to achieve assigned goals, but at the same time may accumulate systemic risks. These processes usually remain unnoticed until the occurrence of an incident.

Within the traditional paradigm, such adaptations are often interpreted as violations or errors. However, it is noteworthy that in practice it is precisely these adaptations that allow systems to remain operational under conditions that were not fully anticipated during design. Thus, a significant proportion of what is later classified as “human error” is in fact the result of rational decisions made within the constraints imposed by the system itself. It is fundamentally important that increasing levels of automation do not eliminate the human factor. Rather, the role of the human is transformed: the human is not removed from the system, but shifts from direct control to functions of monitoring, information interpretation, and intervention in non-standard situations. Under

such conditions, the demands on the operator’s cognitive resources increase, while the opportunities for maintaining situation awareness often decrease. Paradoxically, attempts to “remove” the human from the control process may lead to a reduction in the overall level of safety.

Thus, an approach that considers the human exclusively as a source of errors not only fails to account for the real role of the human in complex technical systems, but also limits the possibilities for analysing the causes of hazardous situations. This creates prerequisites for the repetition of the same problems within new technological frameworks.

1.3. Transition to modern safety thinking: man as an adaptive element of the system

In response to the limitations of the traditional paradigm, an approach has emerged in engineering science that rethinks the very nature of safety in complex technical systems. Within this approach, safety is considered not as a static state or the result of compliance with standards, but as a dynamic property of the system, formed in the course of its everyday operation.

A key feature of contemporary safety thinking is the shift in focus from the analysis of failures and accidents to the analysis of normal system functioning. Contemporary safety thinking views the human not as a threat, but as a necessary element of the safe operation of the system. For most of the time, complex technical systems operate without incidents, and it is precisely in this mode that interaction practices, adaptation mechanisms, and implicit rules are formed, which determine the actual level of safety. In this perspective, accident events are considered not as exceptional phenomena, but as extreme manifestations of the same processes that are present in everyday operation. The table 1 illustrates the complementary nature of the proposed approach rather than a conceptual replacement of existing frameworks.

Table 1

Positioning of the proposed approach relative to established safety frameworks

Aspect	Established safety and resilience frameworks	Proposed approach
Primary focus	Understanding accidents, failures, and normal work	Supporting engineering design decisions
Level of analysis	System behaviour, organisational processes, safety culture	System architecture, design assumptions, human–system interaction
Treatment of the human factor	Source of adaptation, resilience, and variability	Engineering parameter of human–system interaction
Temporal orientation	Predominantly analytical (after incidents or during operation)	Proactive (early design and lifecycle decisions)

Continuation of table 1

Role of design	Contextual factor influencing behaviour	Primary engineering instrument shaping behaviour
Intended use	Safety analysis, accident investigation, conceptual understanding	Design evaluation, comparison of concepts, early risk embedding
Contribution to sustainability	Implicit, through resilience and normal work	Explicit, through viability and real-use sustainability

The proposed approach builds on the core ideas of existing safety and resilience theories, providing engineering operationalization focused on decision-making processes for system design and development. Although concepts such as Safety-I and Safety-II, resilience engineering, and systems-theoretic approaches to safety have fundamentally changed the understanding of accidents, failures, and normal operation, they are primarily focused on the analysis, interpretation, and ex post facto explanation of system behavior. However, these approaches need to be complemented by shifting the focus to the early stages of system design, where assumptions about human behavior, system use, and adaptation are embedded in technical solutions. In this sense, the proposed contribution is not to rethink safety theory, but to transform established safety and resilience principles into practical engineering criteria that can be incorporated into system architecture, function allocation, interface design, and validation in conditions close to real-world operation.

1.4. Man as a source of flexibility and resilience

Within this approach, the human appears not as a weak link, but as a source of flexibility and adaptability of the system¹. Operators and users continuously compensate for the imperfections of technical solutions, the incompleteness of information, and the variability of operating conditions. It is precisely through these adaptations that the system is able to maintain an acceptable level of functioning and safety under conditions of uncertainty. Contemporary safety thinking also transforms the interpretation of the concept of error. An error is viewed not as the root cause of an incident, but as a symptom of deeper systemic problems related to design decisions, organisational constraints, and operating conditions. This shifts the focus from the search for those at fault to the analysis of how the system shapes human behaviour and which actions it makes likely or inevitable. Error ceases to be a property of the human. It becomes a property of the system, the result of inadequate design and a low level of safety culture. Within such a paradigm, safety emerges not when human involvement is

¹ Mygal S.P., Mygal V.P., Mygal G.V. A hybrid approach to learning based on emotional experience and the development of innovative metathinking in post-war Ukraine. *Art & Design*. 2024. No. 3(27). P. 86–97. doi: 10.30857/2617-0272.2024.3

minimised, but when the system creates conditions for adequate, timely, and well-grounded operator actions. The human becomes a full-fledged element of the control loop, and their capacity for adaptation is regarded as one of the key resources for ensuring the safety of complex technical systems. It is precisely this philosophical and engineering shift that provides the foundation for the further analysis of system viability and the role of human-centred design, which will be addressed in the subsequent sections².

The described transition reflects a shift in focus from the search for deviations and errors to the analysis of mechanisms that allow a system to remain safe under conditions of uncertainty. Indeed, an exclusive concentration on accident events creates a distorted understanding of the actual behaviour of complex technical systems. Normal operation is not a static or ideal state. It is constantly accompanied by variability of conditions, incomplete information, local deviations, and the need for timely decision-making. Operators and users adapt their behaviour to these conditions on a daily basis, balancing the requirements of efficiency, productivity, and safety. It is precisely these adaptations that allow systems to remain operational and achieve their intended goals in situations that were not fully formalised at the design stage³⁴.

In this context, safety is a consequence of how people interpret system signals, make decisions under constraints, and interact with technical elements. If these processes remain outside analytical attention, a system may retain formal safety while gradually accumulating latent risks. What in everyday operation contributed to the achievement of results may, under additional constraints or a coincidence of unfavourable factors, lead to a hazardous development of events. Therefore, the analysis of accidents alone does not provide a complete understanding of the causes of risk emergence⁵. From this perspective, the fundamental difference between accident analysis and the analysis of normal operation lies in the following: accident analysis focuses on exceptional events, whereas the analysis of normal operation focuses on typical operating conditions; accidents provide information about the limits of the system, whereas normal operation reveals the mechanisms of its everyday stability; accident analysis explains what happened, whereas the analysis of normal operation explains why the system usually works; safety within accident-centred logic appears as

² Mygal G. Problems of the human factor in transport systems. *Transport Technology*. 2024. V. 5(1). P. 31–43. doi: 10.23939/tt2024.01.031

³ Hollnagel E, Woods D.D, Leveson N. Resilience engineering: concepts and precepts. Aldershot: Ashgate; 2006. doi: 10.1201/9781315605685.

⁴ Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: the past and future of safety management. Farnham: Ashgate; 2014. doi: 10.4324/9781315257396.

⁵ Dekker S. Drift into failure: from hunting broken components to understanding complex systems. Farnham: Ashgate; 2011. doi: 10.4324/9781315257419.

the result of protection against failures, whereas within the logic of normal operation it emerges as the result of coordinated interaction between the human and the system.

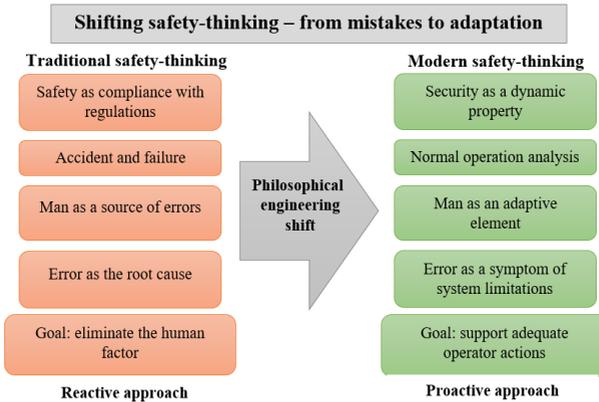


Fig. 2. Transition from traditional to modern safety thinking in the interpretation of the role of humans in complex systems

1.5. The human operator and user as an active element of a complex technical system

In complex technical systems, a significant portion of regulatory functions cannot be fully automated or formalised. In such cases, it is precisely the human who performs the role of an adaptive element that interprets information, assesses context, compensates for the limitations of technical solutions, and makes decisions under conditions of uncertainty. These functions constitute an integral part of the control loop, even if they are not formally described in the system’s algorithms⁶. The operator and the user provide the link between the system’s design model and the real conditions of its functioning. Viewing the human as an active element of the system changes the approach to safety analysis. Operator actions cease to be perceived as isolated events occurring “outside the system” and begin to be considered as a regular response to the structure of interfaces, the logic of automation, organisational constraints, and the available information. Human behaviour, in this perspective, serves as an indicator of how the system actually functions, rather than as a deviation from its “correct” mode.

⁶ Norman DA. The design of everyday things. Revised and expanded edition. New York: Basic Books; 2013.

An important characteristic of the human as an element of a complex technical system is the capacity for learning and adaptation. In the course of operation, operators and users accumulate experience, form mental models of the system, and develop interaction strategies that they consider effective. These adaptations may either increase system resilience or create new risks, depending on the extent to which design decisions support – or, conversely, hinder – adequate human actions. Ignoring this role or attempts to reduce human involvement to a minimum do not eliminate the human factor, but rather make its influence less visible and less manageable.

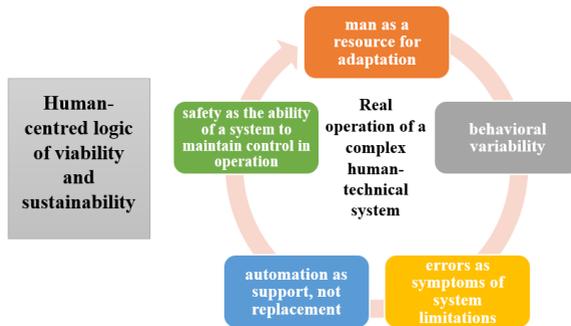


Fig. 3. Human-centered logic of interpreting the role of the human factor in ensuring the safety, viability and sustainability of complex technical systems

1.6. Design as the formation of a space of possible actions

Within traditional engineering logic, the design of technical systems is often regarded as a stage aimed primarily at improving usability or reducing the likelihood of errors. The main attention is given to the creation of protective barriers, constraints, and warnings intended to prevent incorrect actions by the operator or user. The potential of design as an active instrument for shaping safe behaviour often remains outside the focus of engineering analysis. At the same time, in complex technical systems, design determines not only the external appearance of interfaces, but also the fundamental logic of human–system interaction. Design does not neutrally reflect the structure of the system, but actively shapes the way it is used. Design is not limited to the function of protecting against errors, but forms the space of possible human actions within the system.

Safety arises not as a result of removing the human from the control process, but as a consequence of the system allowing and supporting adequate actions

under conditions of variability, uncertainty, and constraints. If design decisions do not take into account real operating conditions, human cognitive capabilities, and the need for adaptation, operators and users are forced to compensate for these limitations through their own actions. This leads to the accumulation of latent risks and the degradation of safety. Within this logic, error is viewed not as an individual user's fault, but as an indicator of a mismatch between the system's design model and its operational practice. Human-centred design makes it possible to reduce this gap by integrating safe actions into the very structure of the work process. Thus, design shapes the space of possible human actions, determining not only what is formally permitted, but also which actions are likely, natural, or practically inevitable under real operating conditions⁷⁸⁹. Through the structure of interfaces, the logic of procedures, the availability of information, and the distribution of responsibility, design determines which interaction scenarios are supported by the system and which are marginalised or made more difficult¹⁰.

Human behaviour is a systematic consequence of design decisions. Safe actions cannot be ensured exclusively through prohibitions, instructions, or control. Within this logic, safety emerges not when human involvement is minimised, but when the system structurally supports timely, adequate, and well-grounded actions under conditions of variability and uncertainty. In this perspective, system safety and viability are determined not only by its technical characteristics, but by how design structures real modes of use.

Conclusions to chapter 1. In summary, it can be argued that design is one of the key engineering instruments for transforming the human factor from a potential source of risk into a resource for safety. Design decisions not only constrain undesirable actions, but also determine which actions become natural, likely, and supported under real conditions of use. Safety emerges when a system is designed with consideration of the real role of the human, supports adequate human actions, and enables effective adaptation to changing operating conditions.

⁷ Mygal S., Mygal V., Mygal G. Strategy for the development of design education in post-war Ukraine: transdisciplinary approach. *SA*. 2023. V. 5(2). P. 119–129. doi: 10.23939/sa

⁸ Mygal G., Protasenko O., Kobrina N. The eco-ergonomics issues of the digital workplace. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Krytskyi D. (eds). *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023*. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 1008. Springer, Cham, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-61415-6_4

⁹ Protasenko O., Mygal G. Eco-ergonomic thinking under human-machine system design. In: Mleczo K., Plaza G. (eds). *Industry Ergonomics: Insights into Industrial Ergonomics*. Gliwice: Silesian University of Technology Publishing House, 2024. P. 37–53.

¹⁰ Endsley MR. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*. 1995. V.37(1). P.32–64. doi: 10.1518/001872095779049543.

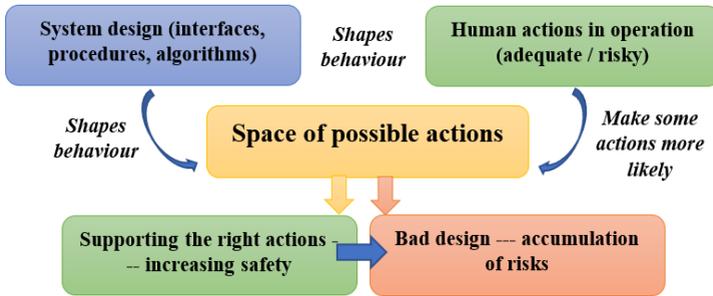


Fig. 4. The role of design in shaping the space of possible human actions and supporting safe behaviour in the operation of complex technical systems

Contribution of Chapter 1: a methodological shift in the interpretation of the human factor in complex technical systems is formulated – from viewing the human as an external source of errors to interpreting the human as an adaptive element of the system and a safety resource; a shift in focus is proposed from accident analysis to the analysis of everyday operation as a source of understanding the mechanisms of system resilience and safety degradation; the role of design as an engineering instrument for shaping the space of possible human actions is substantiated.

2. Viability of complex technical systems.

2.1. The concept of viability in the context of complex technical systems

In contemporary engineering science, increasing attention is being given to the concept of the viability of complex technical systems. Its emergence is associated with the recognition that traditional characteristics – reliability, safety, and robustness – although they remain necessary, are insufficient for describing system behaviour in the long-term perspective and under conditions of change. Viability, in contrast, focuses on the ability of a complex technical system to maintain functioning and achieve its goals over time under conditions of change, uncertainty, and incomplete predictability. It encompasses not only the system’s response to individual failures or disturbances, but also the mechanisms of its gradual adaptation to changes in the environment, organisational conditions, and usage practices. An important feature of viability is its dynamic nature. After implementation, complex technical systems inevitably undergo changes: operating conditions are transformed, performance requirements evolve, levels of automation change, as well as the role of the

human and the associated workload. A system that is reliable and safe at the initial stage may gradually lose these properties if it is not capable of adapting to such changes. In this sense, viability reflects not only the system's ability to "survive" individual disruptions, but also its capacity to evolve together with the environment of use. Another fundamental characteristic of viability is that it cannot be ensured exclusively by technical means. Adaptation of a system to real conditions is to a large extent realised through human actions, organisational processes, and design decisions that define the possibilities for such adaptation. As a result, a system may formally comply with design parameters and regulatory requirements, yet remain non-viable if its structure does not support effective human–technology interaction under changing conditions.

2.2. The life cycle of complex technical systems as a source of sustainability

The viability of complex technical systems is formed at all stages of the system life cycle – from conceptual design to everyday operation and subsequent modernisation. At each of these stages, decisions are made that determine the system's ability to adapt to change and to maintain effectiveness over time. At the design stage, a key role is played by assumptions regarding the conditions of system use, the role of the human, the nature of workloads, and possible operational scenarios. It is at this stage that the system's design model is formed and the potential for viability degradation is embedded. Formally correct technical solutions may, in such cases, prove poorly suited to real operating conditions. The implementation stage is usually accompanied by additional compromises related to organisational, economic, and time constraints. Initial user and operator experience is formed, which subsequently determines the character of interaction with the system. All of this affects the further viability of the system.

The degradation of viability becomes most apparent at the operation stage. In the course of everyday operation, the system encounters changing conditions that were not fully accounted for during design: increasing workloads, transformations of organisational structures, and the emergence of new requirements and constraints. Operators and users are forced to adapt to these conditions, forming work practices that ensure the achievement of goals, but do not always align with the original design logic.

An important characteristic of viability degradation is its gradual and low-visibility nature. A system may demonstrate satisfactory levels of effectiveness and safety for a long time, while simultaneously accumulating internal tensions and latent risks. Problems become evident only when the system's adaptive capacities are exhausted. Thus, the points of viability degradation of complex technical systems are located not only in the domain of technical failures, but also in design assumptions, organisational decisions, and everyday operational

practices. In other words, viability is the result of the coherence between the system’s design model, real conditions of use, and the human capacity to adapt to change.

2.3. The role of the human factor in shaping the viability of systems

It can be observed that, in complex technical systems, viability is not exclusively the result of design decisions or technical characteristics. It is formed in the course of real operation through the actions of people who interact with the system on a daily basis. It is precisely the human factor that determines whether the system will be able to adapt to changing conditions, compensate for the limitations of the design model, and maintain an acceptable level of functioning over time¹¹. In such systems, the human performs the role of a carrier of adaptation. In response to non-standard operating modes, conflicting requirements, and limitations of resources and time, people modify their modes of interaction with the system, develop local solutions, and establish informal practices that allow the system to continue functioning. In many cases, it is precisely these adaptations that constitute the key factor in maintaining system viability. At the same time, the human factor may become a source of slow degradation of viability if the system forces people to operate at the limits of their capabilities or to constantly compensate for shortcomings of design decisions.

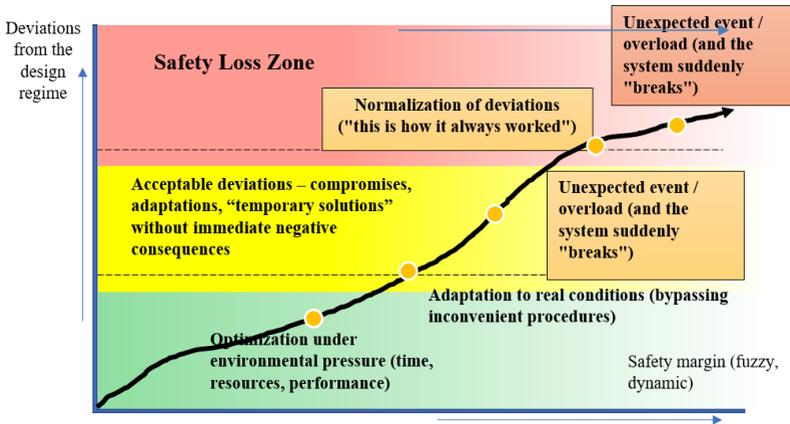


Fig. 5. Scott–Snook Law – Drift into failure: gradual degradation of safety during the operation of complex technical systems

¹¹ Snook S. A. Friendly Fire: The Accidental Shootdown of U.S. Black Hawks over Northern Iraq. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2000. ISBN: 978-0691016202

In such cases, viability is maintained only at the cost of an increasing human workload, which is unsustainable in the long-term perspective. In this context, a key idea is captured by the law of gradual degradation, “*Drift into failure*” (the Scott–Snook law): catastrophes do not arise due to sudden rule violations; they emerge through the gradual normalisation of deviations. Thus, on the one hand, humans provide flexibility, variability, and learning capabilities that cannot be achieved by a rigidly formalised system. On the other hand, these same adaptive mechanisms may mask structural problems of the system, postponing their manifestation and complicating timely detection. A system may appear functional and effective until the limits of human adaptation are reached. Design decisions, the level of automation, interface design, and organisational rules determine which adaptations are possible, acceptable, or inevitable. In this sense, human behaviour is not random, but a predictable reaction to the structure of the system.

2.4. Why formally secure systems turn out to be unviable

In the practice of designing and implementing complex technical systems, a situation is quite common in which a system formally complies with existing norms, standards, and safety requirements, yet demonstrates low viability during operation. Such systems may pass certification, be successfully put into operation, and function for some time without serious incidents, while simultaneously gradually losing the ability to operate effectively and safely under real conditions¹². One of the key reasons for this paradox is the gap between the normative model of the system and its actual behaviour in operation. A system may be “safe on paper” but insufficiently adapted to practical conditions of use. Another contributing factor is the orientation of design towards compliance with formal requirements rather than the analysis of real use. In such cases, engineering solutions are optimised for passing inspections and meeting regulations, while usability, clarity, and support for adequate human actions are treated as secondary aspects.

Formally safe systems are often characterised by excessive complexity or a high cognitive workload imposed on the human. In an effort to cover all possible risks, the system becomes burdened with additional procedures, levels of control, and signals, which complicate information perception and decision-making. Under such conditions, people begin to ignore part of the signals, simplify procedures, or rely on informal rules that allow more efficient work, but at the same time reduce the actual level of system safety and viability. If a system does not provide opportunities for adaptation and revision of design

¹² Leveson N. *Engineering a safer world: systems thinking applied to safety*. Cambridge, MA: MIT Press; 2011. doi: 10.7551/mitpress/8178.001.0001.

decisions, it becomes increasingly less viable, even while remaining formally safe. Thus, the non-viability of formally safe systems is the result not of isolated design errors, but of a systemic orientation towards regulatory compliance rather than the support of real work. Without consideration of the human factor, usage dynamics, and adaptive capacities, safety turns into a declarative property that does not guarantee the long-term effectiveness of the system (Fig. 6).

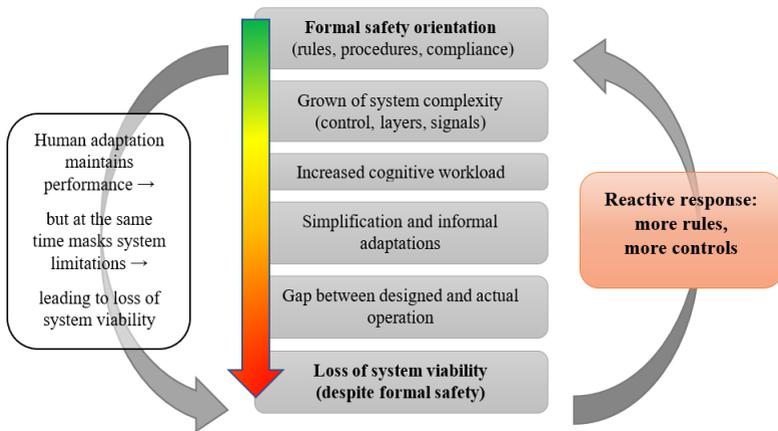


Fig. 6. Mechanism of loss of viability of formally safe systems

2.5. Adaptation, compromises and slow degradation of complex technical systems

The functioning of complex technical systems under real conditions is inevitably accompanied by processes of human adaptation. In the short term, these adaptations allow effectiveness to be maintained and intended goals to be achieved; however, in the long term they may lead to a slow degradation of system viability. Operators strive to optimise work processes, reduce excessive workload, shorten task execution time, or compensate for deficiencies in interfaces and procedures. Such solutions are often perceived as successful, since they allow the system to continue functioning without disruptions or accidents. For this reason, these practices are quickly stabilised and transmitted as the “normal way of working”.

At the same time, each such adaptation represents a compromise between different requirements – safety, productivity, convenience, and limited resources. Slow degradation of viability often remains unnoticed, as it is not accompanied by obvious failures or accidents. On the contrary, a system may demonstrate stable operation over a long period while becoming increasingly dependent on

informal practices, the experience of individual specialists, and tacit knowledge. Under such conditions, system viability is maintained not because of design decisions, but in spite of them, which makes the system vulnerable to changes in personnel, operating conditions, or workload. A particular danger lies in the fact that successful adaptations mask structural problems of the system. People compensate for shortcomings of design decisions, and when the possibilities for adaptation are exhausted, the system encounters a sharp decline in effectiveness or safety. In such cases, incidents appear sudden, although in reality they are the result of long-term gradual processes. Thus, adaptation and compromise are an integral part of the viability of complex technical systems, while at the same time they may be a source of its slow degradation. Accordingly, a transition is required from a reactive approach to managing safety and effectiveness towards the design of systems capable of supporting adaptation without loss of viability.

2.6. Viability as an engineering criterion for evaluating solutions

Considering the viability of complex technical systems as a dynamic property formed throughout the entire system life cycle necessitates the inclusion of this concept in engineering criteria for the evaluation of technical solutions. In classical engineering analysis, primary attention is given to the compliance of technical solutions with regulatory requirements, reliability indicators, and efficiency metrics. These criteria are necessary; however, they do not provide an answer to the question of how a system will behave over time under conditions of increasing complexity, changes in organisational context, and the accumulation of user adaptations. As a result, solutions that are optimal from the standpoint of individual technical parameters may prove to be non-viable in the long-term perspective.

Within this study, viability is proposed to be considered as a multidimensional engineering criterion that can be used for the comparative assessment of technical solutions at the early stages of design. Within this approach, the evaluation of the viability of technical solutions involves the analysis of at least four interrelated dimensions: design viability (the extent to which the assumptions embedded in the system architecture correspond to real conditions of use; whether the design accounts for variability of scenarios and the role of the human as an adaptive element); operational viability (the ability of the system to support effective operation under changing workloads and contexts; the level of cognitive and operational workload imposed on users over time); adaptive viability (whether the system allows the detection, compensation, and correction of gradual shifts in operation; whether adaptation is not shifted exclusively onto the human); evolutionary viability (the system's capacity for modernisation without uncontrolled growth of complexity; the coherence of changes with accumulated operational experience).

Table 2

Comparison of engineering perspectives on safety and viability

Criterion	Classical safety analysis	Resilience-oriented analysis	Proposed viability framework
Main question	How to prevent failures?	How systems cope with variability?	How design enables long-term viability
Focus	Components, barriers, compliance	Normal work, adaptation	Design assumptions, interaction
Human role	Source of error	Source of resilience	Engineering parameter
Application stage	Late design / operation	Operation / investigation	Early design / concept selection

Unlike classical safety assessment methods focused on component reliability or compliance verification, and resilience-oriented approaches primarily aimed at explaining system behaviour during operation, the proposed viability framework targets design-time decision-making, enabling the early identification of structural conditions that support or constrain long-term system adaptation. Within this study, an original framework model for assessing the viability of complex technical systems is proposed, in which viability is interpreted as a multidimensional engineering criterion suitable for the analysis of technical solutions at the early stages of design.

The proposed framework model can be used as a basis for the comparative assessment of alternative design concepts at the early stages of design. For this purpose, the four dimensions of viability may be represented in the form of a radar diagram, which allows the relative viability profile of different solutions to be visualised without a claim to quantitative precision. The diagram highlights that design concepts optimised primarily for formal safety may exhibit significant weaknesses in adaptive and evolutionary viability, which become critical over long-term operation.

Illustrative example of framework application. To illustrate the proposed viability framework, consider a hypothetical highly automated transport control system that formally complies with safety regulations and demonstrates high component reliability. While its design viability may appear strong due to a well-defined functional architecture, assessment using the framework reveals limitations at other levels. Operational viability may be reduced by elevated cognitive workload caused by fragmented information and frequent manual interventions in non-standard situations. Adaptive viability may be constrained when the system provides limited feedback on the consequences of operator adaptations, shifting responsibility for performance adjustments onto the human. Evolutionary viability may also be affected if system updates increase interface complexity without revising function allocation.

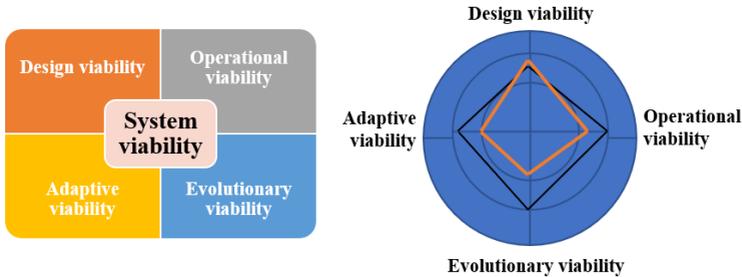


Fig. 7. Multidimensional viability framework and comparative radar profiles of formally safe and human-centred design concepts

A human-centred alternative, evaluated using the same framework, may exhibit lower levels of formal automation but higher operational and adaptive viability due to clearer interaction logic, improved support for situation awareness, and explicit consideration of human adaptation mechanisms. The radar-based representation highlights these trade-offs at early design stages, before implementation decisions become irreversible.

Certain aspects of this approach to viability analysis have been addressed by the author in previous studies devoted to the influence of the human factor and operating conditions on the long-term effectiveness of technical systems¹³¹⁴. The integration of viability as an engineering criterion implies a shift in focus from the assessment of individual components to the analysis of the system as a whole, taking into account its interaction with the human and the environment of use. This entails the need to pose different questions at the design stage: how the system supports user adaptations; which compromises it makes and which it transfers to the human; how cognitive and operational workload change over time; and which mechanisms allow the detection and correction of slow degradation. Considering viability also changes the approach to choosing between alternative technical solutions. Viability becomes a criterion of the long-term quality of engineering solutions, closely linked to economic feasibility, operational stability, and the level of system acceptability for

¹³ Mygal G. Transformation of the engineering thinking of complex systems designer. *Municipal Economy*. 2024. Vol. 1. No. 182. Series: Engineering Science and Architecture. P. 20–29. doi: 10.33042/2522-1809-2024-1-182-20-29

¹⁴ Mygal G., Protasenko O. Designing human-machine systems: transformation of a designer's thinking. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New Solutions in Modern Technologies. 2023. V. 4(18). P. 27–35. doi: 10.20998/2413-4295.2023.04.04

users¹⁵. An important feature of viability as an engineering criterion is its inseparable connection with the human factor. Since it is humans who ensure system adaptation under real conditions, the assessment of viability without considering their role is impossible. This requires the inclusion of analyses of human behaviour, cognitive limitations, and usage practices within the engineering design cycle, rather than treating them as external or secondary factors. Thus, viability acts as an integral engineering criterion that combines technical, organisational, and human aspects of the functioning of complex technical systems. Its consideration makes it possible to move from reactive mitigation of the consequences of degradation to the design of systems capable of supporting safety and effectiveness throughout the entire life cycle.

2.7. Operationalization of the human factor in engineering models

Within this study, the human factor is considered not as an abstract characteristic or a generalised source of risks, but as an engineering quantity subject to operationalisation and inclusion in models for assessing the viability of complex technical systems. The operationalisation of the human factor is carried out through a set of parameters that have direct engineering significance. In particular, cognitive workload is considered as an indicator of the complexity of human–system interaction, defining the limits of stable decision-making over time¹⁶. Erroneous actions are interpreted not as individual failures, but as indicators of a mismatch between design assumptions and real operating conditions. That is, errors are indicators of design and organisational constraints rather than individual unreliability. Human adaptability is treated as a mechanism for compensating system limitations, allowing system operability to be maintained under conditions of variability, while at the same time potentially masking the loss of long-term viability. The reliability of human–system interaction is considered as a property of the joint functioning of the human–machine control loop, dependent on the quality of interfaces, procedures, and the organisational context. Operationalising the human factor does not mean measuring the human; rather, it means incorporating parameters of human–system interaction into engineering decisions. Thus, the human factor acts not as an external constraint or a source of errors, but as an integrated engineering parameter that directly influences the viability of technical solutions at different stages of their life cycle.

Conclusions to Chapter 2. Viability is a dynamic life-cycle property formed through the interaction of technical solutions, operating conditions, and the human factor. Its degradation is often embedded at the design stage

¹⁵ Baxter G, Sommerville I. Socio-technical systems: from design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*. 2011. V.23(1). P.4–17. doi: 10.1016/j.intcom.2010.07.003.

¹⁶ Mygal V.P., Mygal G.V., Mygal S.P. AI: unique opportunities and global challenges – a hybrid approach to modeling reality and its perception. *Qeios*. 2024. doi: 10.32388/GIJ3RI.4

through simplified assumptions about real system use and the role of the human, and is subsequently amplified during operation if design logic is not revised. The human factor plays a key role in maintaining viability by enabling system adaptation, while simultaneously potentially masking structural design limitations when excessive responsibility is shifted onto the human.

Contribution of Chapter 2: a multidimensional framework for viability assessment is proposed (design, operational, adaptive, and evolutionary dimensions), supported by visual tools for comparing alternative concepts; the human factor is operationalised as an engineering parameter of human–system interaction, enabling its integration into assessment models and engineering decision-support processes.

3. Human-Centered Design as an Engineering Methodology for Ensuring Sustainability

3.1. The place of human-centered design in the engineering of complex technical systems

Thus, the key problems of sustainability arise not at the level of individual technical components, but at the level of system interaction with the human under real operating conditions. Formal compliance with standards, high reliability of components, and increasing levels of automation do not in themselves guarantee long-term effectiveness and safety of systems. Therefore, it is necessary to integrate real conditions of use, behavioural characteristics, and human adaptations directly into the design process. Human-centred design, in this sense, appears not as an auxiliary or humanitarian approach, but as a means of extending classical engineering logic by taking into account the role of the human as an active element of a complex technical system¹⁷¹⁸. In contemporary design practice, the concept of human-centred design is often associated with ensuring usability, improving interfaces, or enhancing the ergonomic quality of technical solutions. Such an interpretation, although not incorrect, significantly narrows the meaning and potential of this approach, reducing it to the level of styling or interaction optimisation at the final stages of system development. In the context of complex technical systems, human-centred design should be considered much more broadly – as an engineering approach to modelling real system use. Its task is not to adapt the human to an already created technical structure, but to design the structure itself with consideration of the role of the human in control loops, decision-making, and adaptation.

¹⁷ Cross N. *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*. London: Bloomsbury Academic, 2011. ISBN: 978-1847886361

¹⁸ Brown T. Design thinking. *Harvard Business Review*. 2008. Available at: <https://hbr.org/2008/06/design-thinking>

Human-centred design introduces the human factor directly into the system model. This means that the behaviour of users and operators, their cognitive capabilities, limitations, and typical adaptations are treated as design parameters that influence system architecture, function allocation, and the selection of technical solutions¹⁹²⁰. Such an approach is a logical continuation of contemporary safety thinking and the concept of viability. If safety is formed in normal operation, and viability depends on the system's ability to adapt to change, then design must also take into account the mechanisms through which these processes are realised. Ignoring this leads to design solutions that are formally correct but non-viable in operation. Human-centred design makes it possible to reduce the gap between the design model and the system's real operation, decrease the need for hazardous adaptations, and create the prerequisites for long-term safety and sustainability of complex technical systems.

3.2. Man as part of a system model or as a source of unpredictability

Within standard engineering logic, the human factor exists “outside the system model”, and its influence is compensated for through organisational measures or automation. Human-centred design proposes a fundamentally different approach, within which the human is regarded as a full-fledged design parameter of a complex technical system. This means that characteristics of human behaviour, cognitive capabilities, limitations, and typical adaptations must be taken into account at the same level as technical characteristics of components, control algorithms, or environmental parameters.

Considering the human as a design parameter implies the inclusion in the system model of such aspects as limited information-processing capacity, variability of decision-making, context dependence, and learning during operation. Unlike technical components, the human changes behaviour with experience, adapts to system constraints, and develops stable usage practices. These characteristics are neither random nor undesirable – they determine the actual behaviour of the system under conditions of uncertainty and change.

An important aspect of treating the human as a design parameter is the presence of cognitive biases that influence information perception, risk assessment, and decision-making. Such biases are systemic in nature and do not depend on the level of training or experience of the user. In complex technical systems, they manifest, in particular, in tendencies toward confirmation of

¹⁹ Mygal V.P., Mygal G.V., Mygal S.P. Transdisciplinary convergent approach – human factor. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. V. 4(100). P. 7–21. doi: 10.32620/reks.2021.4.01

²⁰ Lee J.D., Wickens C.D., Liu Y., Boyle L.N. *Designing for People: An Introduction to Human Factors Engineering*. 3rd ed. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/319402797>

expectations, normalisation of deviations, overreliance on automated solutions, or underestimation of low-probability risks. Ignoring these regularities at the design stage leads to the creation of systems that formally assume “rational” human behaviour but, in real operation, stimulate undesirable adaptations. From an engineering perspective, cognitive biases should be treated not as individual errors, but as parameters that must be accounted for in system architecture and interaction design.

Including the human as a design parameter also changes the approach to the analysis of errors and hazardous situations. User and operator actions are considered not as individual deviations, but as systematic reactions to system structure, interfaces, organisational constraints, and function allocation. An engineering interpretation of the human as a design parameter requires abandoning simplified models of the “ideal user” or “nominal operator”. Instead, it is necessary to work with a range of possible behavioural scenarios, typical adaptations, and acceptable workload limits. In this sense, human behaviour becomes a source of information about the quality of design decisions and the correspondence of the system to real conditions of use.

Considering the human as a design parameter is a necessary condition for ensuring the viability of complex technical systems. It makes it possible to integrate real conditions of use into the engineering model of the system and to reduce the gap between design logic and actual operation.

3.3. Integrating a human-centered approach into the classic engineering design cycle

The integration of human-centred design into engineering practice implies the expansion and refinement of the classical approach with consideration of real system use conditions and the role of the human at all stages of the system life cycle. Within the classical engineering cycle, the human-centred approach is integrated at the following key stages:

1) Requirements definition. The human-centred approach makes it possible to move from abstract functional characteristics to the analysis of real system use scenarios. Requirements are formulated with consideration of typical models of human–system interaction, possible variations in user and operator behaviour, as well as the organisational context of operation. Such an approach reduces the risk that a system will formally meet requirements while proving complex or unacceptable in real work.

2) Conceptual design and system architecture. The human-centred approach influences the choice of system architecture and the allocation of functions between technical components and the human. Errors made at this level embed fundamental limitations in system viability and cannot be fully compensated for at later stages.

3) Detailed design and development. At this stage, the approach is implemented through the design of interfaces, procedures, and interaction algorithms that support adequate human actions under conditions of variability and uncertainty. The focus is not only on reducing the probability of errors, but on ensuring the ability to respond flexibly to non-standard situations.

4) System validation and verification. It is necessary to analyse system behaviour under conditions close to real operation, taking into account typical actions of users and operators. Human behaviour is considered as an indicator of the quality of design decisions and their correspondence to real conditions of use.

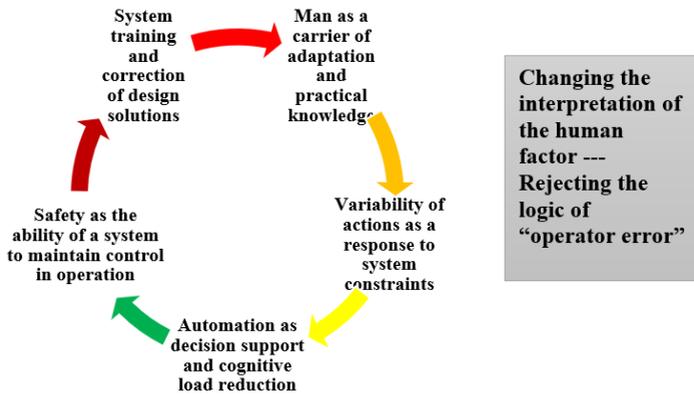


Fig. 8. Breaking the closed loop of safety and sustainability degradation through a human-centred approach to the design and operation of complex technical systems

Within this logic, human-centred design acts not as a separate method, but as a cross-cutting principle of systems engineering. This makes it possible to reduce the gap between the design model and real operation, decrease the need for hazardous adaptations, and increase the long-term viability of complex technical systems.

For the purpose of engineering operationalisation of the human-centred approach, it is appropriate to represent it in the form of a framework model for integrating the human factor into the classical engineering design cycle. Within this framework, the human factor is considered not as an external constraint, but as a design parameter that influences requirements definition, architectural decisions, interaction design, and system validation under conditions close to

real operation (Fig. 9). In the proposed dual-loop framework model, human–system interaction parameters (cognitive workload, situation awareness, erroneous actions as indicators, adaptive behaviour, and HMI reliability) are integrated into each phase of the engineering cycle – from requirements definition to operation and organisational learning.

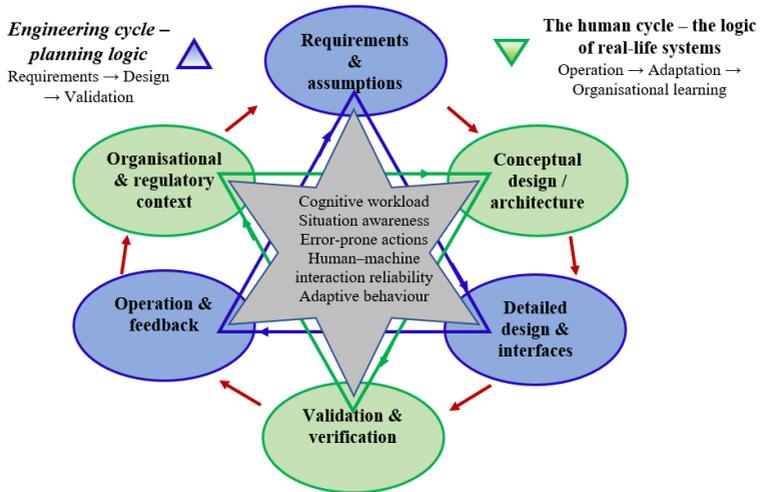


Fig. 9. Dual-loop framework for integrating the human factor into the classical engineering design cycle

The figure illustrates that the human factor is not treated as an external constraint or post-design consideration, but is integrated into key decision points of the engineering lifecycle via measurable interaction-related parameters. To capture the full lifecycle dynamics, the framework is extended by an additional organisational and learning dimension, reflecting how rules, responsibilities, training and accumulated experience shape the long-term behaviour of the system. This dimension connects design decisions with real operational practices and explains why formally correct systems may lose viability over time.

3.4. Human-centered design as a tool for savings, not costs

One of the key differences between human-centred design and the traditional approach is the shift of the focus of human factor analysis to the early stages of the engineering cycle. It is precisely at these stages that system architecture, function allocation, and interaction principles are defined, which subsequently determine both the safety and the viability of the technical solution. Attempts to account for the human factor after the completion of the main design phase are

usually cosmetic in nature and are not capable of compensating for fundamental design limitations. This involves analysing what goals people seek to achieve through the system, under what conditions they operate, and which constraints shape their behaviour. In this context, needs should be considered as functional requirements for the system that reflect real usage scenarios rather than only nominal operating modes²¹. Equally important is the early analysis of the constraints within which the user or operator acts. Such constraints include time pressure, cognitive workload, incomplete information, organisational rules, and conflicting goals. If these factors are not incorporated into the design model, the system inevitably shifts their compensation onto the human, forcing the development of informal adaptations. In the short term, this allows operability to be maintained, but in the long term it reduces viability and increases risks. Analysing user behaviour at the early stages of design makes it possible to identify typical interaction scenarios with the system, characteristic points of strain, and potential sources of compromise between safety and effectiveness. Such analysis does not aim to predict every possible human action, but rather to understand the range of likely behavioural strategies. This makes it possible to design the system in such a way that adequate and safe actions are simpler and more likely than undesirable or risky ones. It is fundamentally important that early work with the human factor reduces the cost of design changes. Adjustments to architectural decisions, automation logic, or function allocation at early stages require significantly fewer resources than attempts to mitigate the consequences of design errors after system implementation. In this sense, human-centred design acts not as a source of additional costs, but as a tool for reducing technical, organisational, and operational risks.

3.5. Human-centered design as a factor in the sustainability and acceptability of technical solutions

The resilience and sustainability of complex technical systems are often considered through the lens of technical and environmental indicators, such as energy efficiency, resource conservation, or the reduction of negative environmental impact. However, under real operating conditions, the long-term sustainability of a system is largely determined by whether it is accepted by users and operators and whether they are able to interact with it effectively without excessive effort or risk²². In this sense, sustainability appears as a property of

²¹ Mygal G. , Protasenko O. Designing human-machine systems: transformation of a designer's thinking. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. 2023. №4 (18). P. 27-35. ISSN: 2079-5459 (print), 2413-4295 (online). doi:10.20998/2413-4295.2022.04.04

²² Cortese A.D. The critical role of higher education in creating a sustainable future. *Planning for Higher Education*. 2003. V. 31(3). P. 15–22. Available at: <https://www.redcampussustainable.cl/wp-content/uploads/2022/07/6-CorteseCriticalRoleOfHE.pdf>

use rather than solely of design or technology. In various engineering domains, it has repeatedly been observed that technical solutions may meet criteria of energy efficiency, resource conservation, or environmental optimisation at the design level, while simultaneously proving to be unsustainable in real operation. The reason for this lies not in physical limitations of the system, but in the ways it is actually used – simplification of procedures, bypassing of certain functions, or adaptations that alter the intended operating modes.

A similar logic has long been present in contemporary safety and viability thinking, where safety is considered not as a property of the design, but as a result of normal everyday system operation. Transferring this approach to the issue of sustainability makes it possible to argue that sustainability is realised not in the design model, but in the daily actions of people who interact with the system. If safety is “produced” in the course of operation, sustainability is formed in an analogous way.

The design of a technical system shapes the behaviour of users and operators, and it is precisely this behaviour that determines actual operating modes, workload levels, resource use, and patterns of wear. Consequently, sustainability emerges not when a system is potentially capable of operating in a sustainable manner, but when it encourages sustainable behaviour under real operating conditions. Human behaviour determines the actual use of resources and adherence to the principles embedded in the system. A technical solution may be energy-efficient or environmentally optimised by design, yet in real operation these characteristics may fail to materialise due to a mismatch between design logic and practical conditions of use. Human-centred design makes it possible to reduce this gap by making actions that are desirable from a sustainability perspective natural and likely for users. The acceptability of technical solutions also has a temporal dimension. A system may be positively perceived at the implementation stage, but over time lose this support as a result of changing operating conditions, increasing complexity, or the accumulation of minor inconveniences. The human-centred approach allows potential evolution of system use to be taken into account, reducing the risk that its sustainability characteristics will be gradually undermined in the process of adaptation²³.

3.6. Limitations and conditions for the effective application of human-centered design

Despite the significant potential of human-centred design in ensuring the safety, viability, and sustainability of complex technical systems, its application has a number of fundamental limitations. Ignoring these limitations or applying

²³ Mygal S., Mygal V., Mygal G. Mutual enrichment of education, science and technology in post-war Ukraine through self-organized integration of creative individuals. *Art & Design*. 2024. No. 4(28). P. 33–50. doi: 10.30857/2617-0272.2024.4.3

the approach superficially may lead to opposite effects – an increase in complexity, dilution of responsibility, and a reduction in system controllability.

One of the key risks is the reduction of human-centred design to a set of isolated methods or formal procedures. The application of individual tools without their integration into the overall engineering logic of the project creates the illusion of addressing the human factor while failing to influence fundamental design decisions. In such cases, human-centred design becomes a declaration rather than a real mechanism for improving system quality. Another limitation lies in the difficulty of formalising human behaviour. Human-centred design does not aim at full prediction or control of user and operator actions. Attempts at excessive formalisation may lead to oversimplified behavioural models. This requires engineers to accept uncertainty as an inherent characteristic of complex technical systems rather than as a modelling error.

Effective application of the human-centred approach also depends on the level of interdisciplinary interaction. Designing with consideration of the human factor requires coordinated work among engineers, safety specialists, operations personnel, and organisational process experts. In the absence of such interaction, the human factor remains a “no-man’s land”, with responsibility diffused among project participants. Organisational readiness for applying the human-centred approach is no less important. Projects oriented exclusively toward short-term technical or economic indicators usually do not create conditions for systematic consideration of the human factor. In such cases, solutions that enhance long-term viability may be perceived as excessive or unjustified costs. Thus, human-centred design is not a universal or inherently effective solution. Its effectiveness is determined by the depth of its integration into the engineering cycle, readiness to work with uncertainty, and the ability to treat the human factor as a systemic element rather than an external condition.

3.7. Methodological limitations and scope of application

Despite the demonstrated potential of the human-centred approach for enhancing safety, viability, and sustainability of complex technical systems, several methodological limitations should be acknowledged. The proposed framework does not aim to eliminate uncertainty inherent in socio-technical systems and does not provide deterministic predictions of human behaviour. Instead, it offers a structured way to account for variability, adaptation, and constraints at the design stage. The operationalisation of the human factor is based on qualitative and semi-quantitative human–system interaction parameters rather than precise numerical metrics, which limits classical optimisation but reflects the context-dependent nature of real system use. The effectiveness of the approach also depends on organisational readiness to integrate human-centred principles into engineering decision-making; projects driven solely by

short-term cost, schedule, or compliance goals may not fully realise its benefits.

Finally, the framework is intended primarily for early design stages and conceptual comparison of alternatives. It complements, rather than replaces, detailed safety analyses and certification procedures by addressing factors typically overlooked in early system development.

Conclusions to Chapter 3. For modern complex technical systems operating under variable conditions and involving active human participation, ignoring human-centred design leads to the accumulation of systemic design constraints and the gradual loss of declared system characteristics. User and operator behaviour serves as an indicator of the adequacy of design decisions and their correspondence to real conditions of use. Sustainability in such systems is formed through real operation rather than being an inherent property of structure or technology. Human-centred design provides an engineering approach for integrating safety, viability, and sustainability across the entire system life cycle.

Contribution of the Chapter: an engineering interpretation of human-centred design as a factor of system viability and sustainability is proposed; sustainability is substantiated as a property of real system use; a framework model for integrating the human factor into the engineering design cycle and its operationalisation through human–system interaction parameters is presented.

CONCLUSIONS

This work examines the role of the human factor in ensuring the safety, viability, and sustainability of complex technical systems. An engineering methodology for integrating the human factor into the assessment of safety, viability, and sustainability of complex technical systems is formulated and substantiated. The main results and contributions are as follows:

1) Reinterpretation of the human factor as a systemic safety resource. A methodological transition is proposed from interpreting the human as a “source of errors” to considering the human as an adaptive element of the control loop. It is shown that under conditions of increasing complexity, safety is formed primarily in the course of normal system operation rather than manifested only in accidents; accordingly, the analysis of everyday operation constitutes a key source of knowledge about mechanisms of resilience and degradation.

2) Substantiation of viability as an integral engineering criterion of long-term solution quality. Viability is defined as a dynamic life-cycle property that emerges through the interaction of technical solutions, operational context, and the human factor. It is shown that formal safety and regulatory compliance do not guarantee viability due to the accumulation of adaptations, compromises, and the “drift” of usage practices.

3) Proposal of a multidimensional framework model for assessing the viability of technical solutions. An original model is developed that includes four interrelated dimensions: design, operational, adaptive, and evolutionary. The model is suitable for the comparative assessment of alternative concepts at early design stages, when key architectural decisions can still be modified.

4) Operationalisation of the human factor as an engineering parameter of “human–system” interaction. An approach is proposed in which the human factor is accounted for not through the evaluation of “human qualities”, but through interaction parameters with clear engineering meaning (in particular, cognitive workload; erroneous actions as indicators of a mismatch between the design model and real work; adaptability as a mechanism of compensation and potential drift; and the reliability of the human–machine control loop). This enables the integration of the human factor into engineering decision-making models without reduction to descriptive judgments.

5) Integration of human-centred design into the classical engineering cycle as a methodology for ensuring viability and sustainability. It is shown that the human-centred approach should function not as an “add-on at the end”, but as a change in the decision-making perspective at critical points of the design cycle (requirements, architecture/function allocation, interface and procedure detailing, and validation in scenarios close to real operating conditions). This reduces the gap between the design model and real operation and decreases the need for hazardous adaptations.

6) Substantiation of sustainability as a property of real system use. It is demonstrated that sustainable effects are not realised automatically through “correct” design or technology, but are formed in actual operating modes created by the interaction of design, organisational conditions, and human behaviour. Accordingly, human-centred design is considered an engineering factor of long-term acceptability and preservation of the system’s declared characteristics over time.

7) Proposal of visual–analytical tools to support engineering decision-making. As a practical outcome, framework schemes and a radar-based representation of the viability profile are proposed, enabling the identification of imbalances between dimensions (for example, “formally safe, but weakly adaptive/evolutionary”) prior to system implementation.

Taken together, the obtained results form a coherent engineering framework that integrates safety, resilience/viability, systems engineering, and human factors, and enables the assessment and design of complex technical systems with a focus on long-term viability and sustainability. In summary, it can be stated that ensuring the safety, viability, and sustainable development of

complex technical systems is impossible without systematic consideration of the role of the human at all stages of the life cycle. The transition from reactive mitigation of consequences to the design of systems capable of supporting effective and safe operation under real operating conditions represents one of the key challenges of contemporary engineering.

SUMMARY

This work examines the role of the human factor in ensuring the safety, viability, and sustainability of complex technical systems under real operating conditions. The limitations of traditional engineering approaches are demonstrated, within which sustainability and safety are interpreted primarily as properties of structure, technology, or regulatory compliance. Based on the analysis of operational practices, it is substantiated that the long-term effectiveness and robustness of complex technical systems are formed not only by design decisions, but through the interaction of technical architecture, conditions of use, and human behaviour.

Safety is proposed to be considered as a dynamic property of normal system operation, and the human factor – not as an external source of errors, but as an adaptive element of the control loop and a resource for maintaining system functioning under conditions of uncertainty. It is shown that the viability of complex technical systems is a life-cycle characteristic formed through the accumulation of adaptations, compromises, and changes in usage practices, and that it is not guaranteed by formal safety or compliance with standards.

A multidimensional framework model for assessing the viability of technical solutions is proposed, encompassing design, operational, adaptive, and evolutionary dimensions. The human factor is operationalised as an engineering parameter of “human–system” interaction through characteristics such as cognitive workload, erroneous actions as indicators of design mismatch, adaptability, and the reliability of the human–machine control loop.

Human-centred design is substantiated as an engineering methodology for integrating viability and sustainability into the classical development cycle of complex technical systems. It is shown that sustainability should be considered as a property of real system use rather than solely of its structural characteristics. The proposed framework and visual–analytical tools can be used to support engineering decision-making at early design stages, with a focus on long-term viability and system acceptability under real operating conditions.

Bibliography

1. Reason J. Human error. Cambridge: Cambridge University Press; 1990. doi: 10.1017/CBO9781139062367.

2. Reason J. The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 1990. V.327(1241). P.475–484. doi: 10.1098/rstb.1990.0090.
3. Parasuraman R., Sheridan T., Wickens C. A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A*. 2000. V.30(3). P.286–297. doi: 10.1109/3468.844354.
4. Fedota J.R., Parasuraman R. Neuroergonomics and human error. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2010. V. 11(5). P. 402–421. doi: 10.1080/14639220902853104
5. Rasmussen J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*. 1997. V.27(2–3). P.183–213. doi: 10.1016/S0925-7535(97)00052-0.
6. Mygal S.P., Mygal V.P., Mygal G.V. A hybrid approach to learning based on emotional experience and the development of innovative metathinking in post-war Ukraine. *Art & Design*. 2024. No. 3(27). P. 86–97. doi: 10.30857/2617-0272.2024.3
7. Mygal G. Problems of the human factor in transport systems. *Transport Technology*. 2024. V. 5(1). P. 31–43. doi: 10.23939/tt2024.01.031
8. Hollnagel E., Woods D., Leveson N. *Resilience engineering: concepts and precepts*. Aldershot: Ashgate; 2006. doi: 10.1201/9781315605685.
9. Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: the past and future of safety management. August 2015. *Cognition Technology and Work* 17(3):461-464. DOI: 10.1007/s10111-015-0345-z
10. Dekker S. Drift into failure: from hunting broken components to understanding complex systems. 2011. DOI: 10.1201/9781315257396
11. Norman D.A. *The design of everyday things*. Revised and expanded edition. New York: Basic Books; 2013. doi: 10.1080/10447318.2013.835494.
12. Мигаль С., Мигаль В., Мигаль Г. Стратегія розвитку дизайн-освіти в повоєнній Україні: трансдисциплінарний підхід. SA. 2023. Випуск 5, номер 2. С. 119–129. <https://doi.org/10.23939/sa2023.02.119>
13. Mygal G., Protasenko O., Kobrina N. The eco-ergonomics issues of the digital workplace. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Krytskyi D. (eds). *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1008. Springer, Cham, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-61415-6_4
14. Protasenko O., Mygal G. Eco-ergonomic thinking under human-machine system design. In: Mleczo K., Plaza G. (eds). *Industry Ergonomics: Insights into Industrial Ergonomics*. Gliwice: Silesian University of Technology Publishing House, 2024. P. 37–53.

15. Endsley M.R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*. 1995. V.37(1). P.32–64. doi: 10.1518/001872095779049543.
16. Snook S. A. Friendly Fire: The Accidental Shootdown of U.S. Black Hawks over Northern Iraq. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2000. ISBN: 978-0691016202
17. Leveson N. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. Cambridge, MA: MIT Press; 2012. DOI: 10.7551/mitpress/8179.001.0001
18. Carayon P., Hancock P., Leveson N., Noy I., Sznclwar L., van Hootegem G. Advancing a sociotechnical systems approach to workplace safety. *Ergonomics*. 2015. V.58(4). P.548–564. doi: 10.1080/00140139.2015.1015623.
19. Mygal G., Protasenko O. Human factors: the problem of man–machine interaction in the digitalization conditions. *Scientific Journal of Polonia University*. 2021. V. 48(5). P. 198–210. doi: 10.23856/4825
20. Mygal G. Transformation of the engineering thinking of complex systems designer. *Municipal Economy*. 2024. Vol. 1. No. 182. Series: Engineering Science and Architecture. P. 20–29. doi: 10.33042/2522-1809-2024-1-182-20-29
21. Mygal G., Protasenko O. Designing human-machine systems: transformation of a designer’s thinking. *Bulletin of the National Technical University “KhPI”*. Series: New Solutions in Modern Technologies. 2023. V. 4(18). P. 27–35. doi: 10.20998/2413-4295.2023.04.04
22. Dul J., Bruder R., Buckle P., Carayon P., Falzon P., Marras W., Wilson J., van der Doelen B. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*. 2012. V.55(4). P.377–395. doi: 10.1080/00140139.2012.661087.
23. Baxter G., Sommerville I. Socio-technical systems: from design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*. 2011. V.23(1). P.4–17. doi: 10.1016/j.intcom.2010.07.003.
24. Mygal V.P., Mygal G.V., Mygal S.P. AI: unique opportunities and global challenges – a hybrid approach to modeling reality and its perception. *Qeios*. 2024. doi: 10.32388/GIJ3RI.4
25. Cross N. Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work. London: Bloomsbury Academic, 2011. ISBN: 978-1847886361
26. Brown T. Design thinking. *Harvard Business Review*. 2008. Available at: <https://hbr.org/2008/06/design-thinking>
27. Mygal V.P., Mygal G.V., Mygal S.P. Transdisciplinary convergent approach – human factor. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. V. 4(100). P. 7–21. doi: 10.32620/reks.2021.4.01
28. Lee J.D., Wickens C.D., Liu Y., Boyle L.N. *Designing for People: An Introduction to Human Factors Engineering*. 3rd ed. CreateSpace Independent

Publishing Platform, 2017. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/319402797>

29. Mygal G., Protasenko O. Designing human-machine systems: transformation of a designer's thinking. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. 2023. №4 (18). P. 27-35. ISSN: 2079-5459 (print), 2413-4295 (online). doi:10.20998/2413-4295.2022.04.04

30. Cortese A.D. The critical role of higher education in creating a sustainable future. Planning for Higher Education. 2003. V. 31(3). P. 15–22. Available at: <https://www.redcampussustainable.cl/wp-content/uploads/2022/07/6-CorteseCriticalRoleOfHE.pdf>

31. Mygal S., Mygal V., Mygal G. Mutual enrichment of education, science and technology in post-war Ukraine through self-organized integration of creative individuals. *Art & Design*. 2024. No. 4(28). P. 33–50. doi: 10.30857/2617-0272.2024.4.3

Information about the author:

Mygal Galyna Valeriivna,

Doctor of Technical Sciences,

Professor at the Department of Transport Technology,

Lviv Polytechnic National University,

12, Stepana Bandery str., Lviv, 79000, Ukraine

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ ТА КРАЇН ЄС: ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВОЇ І НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У ВІЙСЬКОВІЙ СФЕРІ

Хоменко Є. В., Світлічний І. В., Бондар В. Ю., Коротченко О. О.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-23>

ВСТУП

З початком широкомасштабного вторгнення РФ кардинально зросла потреба у інноваційних технічних рішеннях для сталого розвитку, включаючи військову сферу. Водночас євроатлантична інтеграція залишається ключовим стратегічним пріоритетом України. Ці два нерівнозначні чинники створюють унікальний запит на дослідження як інноваційних технічних рішень, так і історії розвитку та організації наукової і науково-технічної діяльності у військовій сфері країн-партнерів. Згідно Закону України “Про наукову і науково-технічну діяльність” від 26.11.2015 № 848-VIII, наукова діяльність спрямована на одержання і використання нових знань для розв’язання технологічних, інженерних, економічних, соціальних та гуманітарних проблем¹. Перелік пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня (року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні)² містить наступний тематичний напрям наукових досліджень: “національні інтереси України в контексті геополітичних проблем сучасного глобалізованого світу та формування нового міжнародного правопорядку” (п. 9 розд. 2)³, до якого дотичне і представлене дослідження.

¹ Про наукову і науково-технічну діяльність : Закон України від 26.11.2015 № 848-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19#Text>

² Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні : Постанова Каб. Міністрів України від 30.04.2024 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2024-п#Text>.

³ Додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 30.04.2024 № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2024-п>

Проведений авторами бібліометричний аналіз наукометричних баз Scopus та Web of Science не виявив комплексних узагальнень щодо організації такої діяльності країн-партнерів, що обґрунтовує актуальність роботи⁴. Попри те, що окремі дослідження присвячені такій діяльності, концепціям певних корпусів чи стандартам НАТО, комплексний огляд вказаного питання (з урахуванням проблем євроатлантичної інтеграції України) відсутній у Scopus-індексованих виданнях та виданнях першого-другого квартилей Q1–Q2. Саме тому потребують подальшого дослідження питання наукової діяльності військових формувань цих країн, яку автори розглядатимуть через призму (на прикладі) порядку організації наукової та науково-технічної діяльності Корпусу інженерів армії США та Корпусу королівських інженерів Британської армії. З урахуванням викладеного, актуальним є вивчення як інноваційних технічних рішень для сталого розвитку України та країн ЄС, так і порядку організації (виконання) та впровадження результатів наукової діяльності країн-партнерів.

У контексті теми “Інноваційні технічні рішення для сталого розвитку України та країн ЄС” дослідження не тільки самих рішень, а й усієї системи організації наукової і науково-технічної діяльності у військовій сфері країн-партнерів набуває стратегічного значення. Це значення обумовлено тим, що в умовах повоєнного відновлення та сталого розвитку військова наука й освіта стикаються з новими викликами, невизначеністю ризиків, необхідністю швидкого впровадження інноваційних технічних рішень та сучасних наукових підходів для забезпечення конкурентоспроможності України у світі. Вивчення та адаптація найкращих інноваційних технічних рішень, практик наукової діяльності (у військовій сфері) країн-партнерів, зокрема порядку організації та впровадження результатів на прикладі Корпусу інженерів армії США⁵, Корпусу королівських інженерів Британської армії⁶ підвищує ефективність виконання завдань за

⁴ Бондар В. Ю., Коротченко О. О., Хоменко Є. В. Виклики та перспективи наукової діяльності в умовах повоєнного відновлення України: ризико-орієнтовані підходи. Current issues in the development of Ukrainian legal education and science in the present day and post-war reconstruction : Scientific monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2026. 444 p. С. 112-132. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-629-4-6>

⁵ Историчний розвиток корпусу інженерів армії США / Є. В. Хоменко та ін. *International electronic scientific journal “Science Online”*. 2025. № 2. С. 6 – 21. DOI: <http://dx.doi.org/10.25313/2524-2695-2025-2-06-21>.

⁶ Хоменко Є. В., Светлічний І. В., Бондар В. Ю., Ємел’янова С. М. Корпус королівських інженерів Британської армії: історія та інновації в освіті. *Pedagogical and Psychological Studies, Innovations in Education as the Basis for Forming the Modern Educational Environment : Scientific monograph*. Рига. Латвія. 2026.

призначенням та має на меті мінімізувати (унеможливити) втрати серед особового складу сил оборони України⁷.

1. Організація та здійснення наукової та науково-технічної діяльності у Корпусі інженерів армії США

Корпус інженерів армії США (далі – Корпус) є однією з найвпливовіших інженерних формувань світу, що виконує як військові, так і цивільні завдання. Основним науково-дослідним підрозділом Корпусу виступає Інженерний центр досліджень та розробок (Engineer Research and Development Center, ERDC), до складу якого входять спеціалізовані лабораторії.

Підрозділом Корпусу виступає Школа інженерів Армії США (United States Army Engineer School, USAES), розташована у Форт-Леонард-Вуд (штат Міссурі). Цей заклад, заснований 1778 р., забезпечує підготовку з бойової інженерії, мостобудування, будівництва, геопросторових технологій, дайвінгу та пожежогасіння для понад 37 тис. військових і цивільних фахівців. Школа використовує принципи "build fortifications and breach their walls" (символ замку з 1840 р.), забезпечуючи безперервну освіту від базової до вищої (Engineer Credentialing Program).

Перша дослідна лабораторія Корпусу – The Waterways Experiment Station (WES) – заснована 1929 р. для моделювання захисту від повеней та їх ліквідації, що відповідало Закону про контроль повеней 1928 р. (FCA 1928)⁸. Метою її заснування було вирішення нагальних потреб у вивченні і побудові моделей захисту від природних та штучних повеней, з подальшою розробкою і реалізацією заходів щодо їх ліквідації. Закон про контроль за повенями 1928 року (FCA 1928) дозволив Корпусу інженерів розробляти та втілювати у життя проекти по контролю за повенями не тільки на річці Міссісіпі та її притоках, а також на річці Сакраменто в Каліфорнії.

Діяльність Корпусу під час та після другої світової війни зосереджувалася на масовій підготовці інженерних кадрів для бойових завдань (понтонні мости, злітно-посадкові смуги, фортифікації) та цивільного відновлення. Основним центром була Школа інженерів Армії США (USAES) у Форт-Белвуар (Вірджинія), яка підготувала понад 169 тис. фахівців. Під час

⁷ Нестеров Д. Ю., Примаченко В. Ф., Хоменко С. В., Светлічний І. В., Бесараб П. М. Освітня та наукова діяльність як засіб модернізації військової інституції: досвід Корпусу інженерів. *Модернізація вищої освіти України в контексті глобалізації. Монографія / за загальною редакцією А. М. Івановської*. Кам'янець-Подільський. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2025. 344 с. ISBN 978-9934-26-560-0. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-560-0-35> URL: <http://188.190.43.194:7980/jspui/handle/123456789/14226>

⁸ Fatherree, Ben H. (2004). The First 75 Years: History of Hydraulics Engineering at the Waterways Experiment Station URL: <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/p16021coll4/id/157>

Другої світової війни Engineer Replacement Training Center (ERTC) у Форт-Белвуар проводив 8-тижневі курси для призовників (з 12 тижнів у 1941 р.): розвідка, будівництво доріг/загороджень, мінування/розмінування, робота з технікою, геодезія, залучивши університети (Carnegie Tech тощо) для технічного навчання 150 тис. солдатів. Після демобілізації (90% скорочення) акцент змістився на арктичний напрямок, що призвело до створення Лабораторії досліджень та інженерії холодних регіонів (CRREL) у 1961 р. у Ганновері (Нью-Гемпшир) шляхом об'єднання лабораторій у Вілметті та Бостоні. У 1962 р. утворено Лабораторію геопросторових досліджень (GRL) у Форт-Белвуар (Вірджинія), яка еволюціонувала від Топографічного інженерного центру до Армійського геопросторового центру (AGC) у 2009 р., забезпечивши перехід до GPS-технологій⁹.

У 1962 році Корпус інженерів створив Агентство досліджень і розвитку інженерної геодезії, розвідки та картографування, яке згодом перетворилось у Лабораторію геопросторових досліджень (Geospatial Research Laboratory GRL), яка розташована у Форт-Белвуар, штат Вірджинія. Протягом 1960-х і 1970-х років в ній розробляли автоматизоване обладнання для створення топографічних карт на основі аерофотознімків і вдосконалювало системи для створення армійських польових карт. Пріоритетним напрямком діяльності Топографічного інженерного центру стали дослідження в галузі геопросторового позиціонування на основі глобальної системи позиціонування, що в подальшому втілювалося у створення системи GPS-навігації. Подальший розвиток технології глобального просторового позиціонування призвів до якісного переходу на новий, більш високий рівень інформативності, не тільки в гідрологічній діяльності, а і в інших сферах по всьому світу. Трансформація сфери застосування розробок Топографічного інженерного центру, що стали частиною системи національної безпеки США у 2009 році перетворили його у Армійський геопросторовий центр (AGC), який став безпосередньо підпорядковуватися Корпусу інженерів¹⁰.

У 1968 р. відкрито Лабораторію будівельних інженерних досліджень (CERL) у Шампейні (Іллінойс) для вивчення матеріалів, енергосистем та житла; серед розробок – волокнистий залізобетон, прилади перевірки

⁹ Нестеров Д. Ю., Примаченко В. Ф., Хоменко Є. В., Светлічний І. В., Бесараб П. М. Освітня та наукова діяльність як засіб модернізації військової інституції: досвід Корпусу інженерів. *Модернізація вищої освіти України в контексті глобалізації : кол. моногр.* Кам'янець-Подільський. Подільський Державний Університет. Рига, Латвія: Baltija Publishing, 2025. С. 75-84 DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-560-0-35>.

¹⁰ Defense Media Network. U.S. Army Geospatial Center [Електронний ресурс] // Defense Media Network. URL: <https://www.defensemedianetwork.com/stories/u-s-army-geospatial-center/> (дата звернення: 13.02.2026)

зварювання. Дослідження охоплюють гідравліку, геотехніку, екологію. Ця лабораторія проводила дослідження в галузі будівельних матеріалів та технологій їх використання, в якій було розроблено:

- волокнистий залізобетон, який використовується як для злітно-посадкових смуг аеродромів, так і для деяких будівельних робіт;
- портативний прилад для перевірки якості зварювання;
- централізовану установку для контролю забруднюючих речовин тощо.

Після Другої світової війни зростає потреба у дослідженні і розробці не військових проєктів, задля чого Корпус інженерів переорієнтовується на дослідницькій діяльності здебільш по цивільних роботах. Дослідження в лабораторії гідравліки Експериментальної станції водних шляхів дали нову інформацію про осадження, турбулентність і звивистість річки. Залишаючись лідером у тривимірному моделюванні річок, лабораторія додатково розробила нові комп'ютерні математичні моделі. Ця робота сприяла вдосконаленню інженерного дизайну гідротехнічних споруд, включаючи дамби та шлюзи. Дослідна робота по вивченню основних матеріалів земної кори, яку проводить Геотехнічна лабораторія Експериментальної станції водних шляхів, дозволила Корпусу інженерів, серед іншого, захистити джерела підземних вод, зменшити забруднення та забезпечити більший захист для будівель у сейсмонезбезпечних регіонах світу. Дослідницький центр прибережної інженерії став складовою частиною Експериментальної станції водних шляхів, і зробив значний внесок у покращення захисту берегової лінії і пристані та запобігання ерозії пляжів. Його Конструкторська лабораторія проводить оцінку, обслуговує та відновлює застарілі гідротехнічні споруди, а Екологічна лабораторія Експериментальної станції водних шляхів займається захистом водно-болотних угідь, якістю води, очищенням навколишнього середовища та захистом видів, що знаходяться під загрозою зникнення.

При подальших дослідженнях в галузі гідрології виникла потреба в швидкій обробці великих масивів даних. Для вирішення цієї задачі у Дейвісі, штат Каліфорнія, Центр гідрологічної техніки розробив пакети комп'ютерного програмного забезпечення, якими згодом стали користуватися у всьому світі професіоналами з водних ресурсів не тільки у Корпусі інженерів, а й за його межами. Ці програмні продукти обчислюють параметри паводкового стоку у всіх типах водойм, профілі водної поверхні як для природних річок, так і для побудованих водних шляхів, щорічні збитки від повеней і вигоди від зменшення збитків від повеней для проєктів на стадії проєктування, а також профілі повеней.

Таблиця 1

Географічні локації Інженерного центру досліджень та розробок

	Розташування	Лабораторія
1	Віксбург, Міссісіпі	Лабораторія берегових та гідравлічних досліджень (CHL)
2		Лабораторія екологічних досліджень (EL)
3		Лабораторія геотехнічних та структурних досліджень (GSL)
4		Лабораторія інформаційних технологій (ITL)
5	Ганновер, Нью-Гемпшир	Лабораторія досліджень та інженерії холодних регіонів (CRREL)
6	Шампейн, Іллінойс	Лабораторія будівельних інженерних досліджень (CERL)
7	Александрія, Вірджинія	Лабораторія геопросторових досліджень (GRL)

Джерело: складено авторами

Об'єднавши лабораторії в одну науково-дослідну організацію, ERDC застосовує єдиний підхід до вирішення нагальних проблем і втілення у життя різноманітних ініціатив і можливостей. Корпус інженерів керує науково-дослідною діяльністю через свою програму досліджень та розробок, яка формує політику, здійснює стратегічне планування та нагляд за дослідженнями та розробками для військових та цивільних програм Корпусу інженерів.

Групи інженерів і вчених, що вивчають і досліджують у ERDC різноманітні явища і процеси, можуть вирішувати широкий спектр науково-технічних питань, від арктичних температур до мобільності транспортних засобів у пісках пустелі, від захисту водно-болотних угідь до захисту військ США по всьому світу, від визначення точного місця артилерійського снаряду до прогнозування розширеного ареалу існування виду, що перебуває під загрозою зникнення¹¹.

ERDC ставить за мету бути провідною у світі науково-дослідною організацією у галузі інженерії та екологічних наук. Його місія полягає у розробці довгострокової інформації, яка охоплює систему освіти від дошкільного рівня до професійної діяльності, з метою проведення аналізів, надання змістовних звітів, співпраці у дослідженнях в галузі освіти та обміну даними¹².

Визначимо п'ять основних напрямків науково-технічної діяльності, що проводять інженери та дослідники ERDC.

¹¹ ERDC partners with multiple universities on graphene research. Engineer Research and Development Center Website. URL: <https://www.erd.usace.army.mil/Media/News-Stories/Article/2943336/erd-partners-with-multiple-universities-on-graphene-research/>

¹² Civilian Education System. | Army University. Home of The Army University | Army University. URL: <https://armyuniversity.edu/amsc/educationalprograms>

Перший напрямок науково-технічної діяльності – військова інженерія. Дослідницька сфера військової інженерії пропонує бійцям використовувати інноваційні технології та сучасні технічні розробки як для забезпечення свого захисту, так і для виконання бойового завдання. Вона дозволяє утримувати лідируючі позиції у розробці нових, легких систем захисту, що швидко встановлюються, та які доцільно розгортати у віддалених місцях. Дослідження у сфері військової інженерії відкрили нові можливості для використання допоміжних засобів прийняття рішень щодо живучості, які не тільки здійснюють швидку оцінку існуючих захисних позицій, але й забезпечують проведення вдосконалення оборонних конструкцій посилюючи захист від атак ворога. Також проводиться дослідження заходів і технологій для проведення військових операцій, включаючи геопросторову інформацію, розробку систем, оперативну підтримку та захист військ.

Другий напрямок науково-технічної діяльності – установки та операційне середовище. Дослідження та розробки, спрямовані на покращення військових баз та об'єктів, включаючи трансформацію, операції та екологічні проблеми. Прикладом слугує розробка стійких рішень для управління енергією на військових об'єктах¹³. ERDC надає передові рішення для армійських об'єктів, полігонів для тренувань і базування на випадок надзвичайних ситуацій, особливо в сферах екологічної стійкості та енергетичної безпеки. Рішення зосереджені на високостійких і економічно ефективних підходах до управління військовими об'єктами, полігонами та інфраструктурою протягом життєвого циклу. Розроблені сучасні технології розширюють досвід підготовки бійців, зменшують обмеження на територію для навчання, підвищують безпеку бійців, забезпечують ефективне використання обмежених ресурсів, таких як енергія та вода, і сприяють плануванню сталого розвитку спільно з місцевими та регіональними громадами.

Третій напрямок науково-технічної діяльності – дослідження та розробки у сфері водних ресурсів, включаючи інфраструктуру, водні ресурси, екологічні проблеми, навігацію, боротьбу з повеннями та зменшення збитків від штормів. Наприклад, ERDC розробляє інноваційні рішення для захисту прибережних районів від ерозії та підвищення рівня моря¹⁴.

Розробки та технологічні дослідження ERDC у сфері цивільних робіт в першу чергу впливають на соціальний сторону суспільства, адже сприяють

¹³ Fatherree, Ben H. (2004). The First 75 Years: History of Hydraulics Engineering at the Waterways Experiment Station URL: <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/pl16021coll4/id/157>

¹⁴ Civilian Programs – U.S. Army Acquisition Support Center. URL: <https://asc.army.mil/web/career-development/programs/civilian/>

зміцненню нації, надаючи інноваційні та екологічно стійкі рішення для вирішення проблем водних ресурсів, які зазнають дедалі більшого тиску через зростаючі потреби їх використання. Сучасні технології допомагають Корпус інженерів стабільно керувати існуючою інфраструктурою водних ресурсів, враховуючи такі виклики природи, як: очікувані зміни клімату та землекористування, вторгнення екзотичних видів, демографічні зміни та старіння структур, щоб задовольнити потреби майбутніх поколінь.

Інструменти та ресурси ERDC постійно працюють, покращуючи потік комерційного судноплавного руху на водних шляхах, постійно відновлюючи шлюзи й підтримуючи канали, зменшуючи ризик шкоди життю і майну від повеней, а також захищаючи рибу та рослинність. Дослідження та розробки ERDC в цивільних роботах проводяться інженерами і вченими, які створюють, постачають і обслуговують наукові та технологічні ресурси, необхідні для вирішення нагальних суспільних проблем.

Четвертий напрямок науково-технічної діяльності – геопросторові дослідження та інженерія. ERDC проводить розробку та впровадження геопросторових технологій для підтримки військових і цивільних потреб таких як: геопросторові бази даних та інструменти аналізу для підтримки планування місій та реагування на надзвичайні події¹⁵. Виходячи з того, що точне місцезнаходження, бездротовий супутниковий зв'язок, географічні дані рельєфу місцевості, а також своєчасна отримана інформація є центральними елементами успіху в середовищі бойового простору. Інженери ERDC розробляють сучасні засоби, для отримання і використання оперативних даних, щоб забезпечити бійцю кращу обізнаність про ситуацію на полі бою. Це забезпечує бійців інформаційною перевагою, задля точного та швидкого оцінювання впливу середовища бою на особовий склад, техніку, датчики та системи. Дослідження й розробки в цій галузі допомагають вдосконалювати технічні засоби, а також тактику їх застосування, робити чіткі оцінки безпеки і життєздатності бійців та забезпечувати проведення операцій.

П'ятий напрямок науково-технічної діяльності – стійкість інженерних систем: Дослідження та розробки, спрямовані на створення стійких систем, які можуть протистояти природним та техногенним загрозам. За цим напрямком інженери ERDC розробляють нові матеріали та конструкції для будівель та інфраструктури, які є стійкими до землетрусів та вибухів¹⁶.

¹⁵ Army Engineer Officer – Army Talent Innovation Directorate. URL: <https://talent.army.mil/job/engineer-officer/>

¹⁶ Engineer Research and Development Center. ERDC. Engineer Research and Development Center Website. URL: <https://www.erd.usace.army.mil/>

Високоякісні та добре продумані рішення у цьому напрямку досліджень відіграють важливу роль в підтримці бойових системи, які є ефективними у дедалі ширшому спектрі військових операцій. Використання цих засобів дозволяє генерувати (створювати) поле варіантів за лічені години, а не за місяці, причому вони значно більші та точніші, ніж ті, що отримуються традиційними методами. Розроблені конструкції мають високу стійкість, що робить їх значно надійними. Відтак їх легко модифікувати для досягнення майбутніх операцій, і вони мають передбачуваний життєвий цикл. Існуючі в ERDC методи досліджень ефективно застосовуються для аналізу літаків, гвинтокрилів, наземних транспортних засобів і кораблів, забезпечуючи можливість більш обґрунтованих оцінок стійкості їх конструкцій, що значно економить час на випробування і дозволяє заощаджувати державні кошти. Напрями дослідження зосереджені на: системах зброї, випробувальних полігонах, операційному середовищі, аналітиці.

В таблиці 2 представлені досягнення, проекти й розробки інноваційних технологій, що проводить ERDC як для потреб армії США, так і для потреб цивільних.

Таблиця 2

**Приклади інноваційних технічних рішень ERDC
за напрямками досліджень**

Досягнення	Опис
3D-друк з льодом	Розробка 3D-друку з льодом, посиленням натуральними волокнами, для будівництва військових об'єктів у віддалених холодних регіонах. Ця технологія дозволяє використовувати лід та сніг як будівельні матеріали, що є особливо важливим в арктичних умовах, де доступ до традиційних матеріалів обмежений.
3D-друк для відновлення екосистем	Використання 3D-принтерів для перетворення осаду на будівельний матеріал для відновлення екосистем. Ця технологія дозволяє створювати штучні рифи та інші структури, які сприяють відновленню морського середовища.
Хмарне середовище цифрової інженерії	Розробка хмарного середовища цифрової інженерії для покращення програм придбання для всіх видів Збройних сил США. Це середовище надає доступ до спеціалізованого обладнання, різноманітних інструментів проектування та високопродуктивних обчислень, що сприяє пришвидшенню та підвищенню ефективності процесу розробки нових технологій.
Дослідження впливу забруднювачів на водне середовище	Дослідження впливу військових забруднювачів на водне середовище за допомогою прісноводних акваріумних рибок даніо реріо. Ці дослідження допомагають зрозуміти вплив забруднюючих речовин на водні екосистеми та розробити нові методи моніторингу для захисту водних ресурсів.

Безпілотні наземні транспортні засоби	Розробка системи безпілотних наземних транспортних засобів, які можуть працювати без використання глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS). Ці транспортні засоби можуть використовуватися для виконання різноманітних завдань, включаючи розвідку, транспортування вантажів та ліквідацію наслідків стихійних лих, в умовах, де GPS-навігація недоступна.
Розробка хмарного середовища цифрового проектування.	Це середовище використовується для модернізації літаків Boeing B-52 та сприяє підвищенню ефективності програм закупівель для всіх видів збройних сил США. Завдяки цій технології можна досягти значної економії коштів та підвищити ефективність військових закупівель.
Дослідження графену та його застосування у різних галузях.	Вчені ERDC досліджують можливості використання графену в будівництві доріг, фільтрації води та створенні нових матеріалів. Дослідження графену відкриває унікальні можливості для розвитку національної оборони та інфраструктури, зокрема, шляхом створення нових матеріалів з покращеними властивостями.

Джерело: складено авторами

Як зазначено вище, ERDC формує єдиний підхід до вирішення завдань Корпусу через п'ять ключових напрямів: 1) військова інженерія (захист, геопросторова підтримка); 2) установки та операційне середовище (енергетика, стійкість баз); 3) цивільні роботи (водні ресурси, прибережний захист); 4) геопросторові дослідження (місцевість, GNSS-незалежна навігація); 5) стійкість систем (матеріали проти землетрусів, вибухів).

Співпраця ERDC з університетами (Міссісіпі, Джексон, Райс), NASA, DHS, CISA та ERDCWERX забезпечує розвиток інновацій, зокрема у використанні графену.

Науково-дослідна діяльність Корпусу інженерів армії США визначається значущістю для забезпечення національної безпеки, економічного розвитку та екологічного захисту. Як головний дослідницький центр Корпусу, Інженерний центр досліджень та розробок (ERDC) відіграє ключову роль у формуванні інноваційних рішень для розв'язання складних інженерних завдань. Дослідження та розробки Корпусу спрямовані на подолання актуальних викликів, зокрема зміни клімату, старіння інфраструктури та загроз національній безпеці.

2. Організація наукової та науково-технічної діяльності у Корпусі королівських інженерів Британської армії

Організація та виконання заходів наукової та науково-технічної діяльності у Корпусі королівських інженерів Британської армії (далі

– Royal Engineers) та представляє собою комплексну систему, що еволюціонувала впродовж трьох століть існування корпусу і відображає сучасні тенденції військової інженерної освіти. Історичний контекст формування системи підготовки військових інженерів у Великій Британії демонструє унікальну роль військових навчальних закладів у розвитку інженерної освіти загалом. Відповідно до дослідження Блека (Black), опублікованого в *International Journal of Mechanical Engineering Education* у 2009 році¹⁷, саме військові академії були єдиними установами у Великій Британії дев'ятнадцятого століття, що забезпечували викладання інженерії на основі поєднання теорії та практики в академічно орієнтованому інституційному середовищі. У той час як цивільна інженерна освіта у Великій Британії базувалася переважно на традиційних системах учнівства з акцентом на концепції практика, військові інженерні коледжі розвивали систематичний підхід до технічної освіти. Адміністрування та управління науковою, технічною та інженерною освітою як у Британії, так і в Індії здійснювалося офіцерами Royal Engineers та їхніми індійськими колегами, що створило унікальну традицію військово-цивільних відносин у галузі інженерної освіти.

Академічні дослідження військової науки та освіти, індексовані в SCOPUS, демонструють зростаючий інтерес до цієї галузі. Бібліометричний аналіз, проведений Кондрашев (Kondrashev), Соколова (Sokolova), Доброхотів (Dobrokhotov) та опублікований у *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education* у 2024 році¹⁸, виявив шість тисяч триста тридцять вісім статей з інженерної освіти, індексованих у SCOPUS між 2014 та 2023 роками. Результати показали збільшення кількості публікацій та географічне розмаїття досліджень. Більшість із топ-десяти авторів є з США, з незначною співпрацею між дослідницькими групами. Більшість інституцій з найвищими публікаціями та цитуваннями є з США, провідної країни в дослідженнях інженерної освіти, і лише три з інших країн: Данії, Іспанії та Швеції.

Організаційна структура наукової та науково-технічної діяльності Royal Engineers включає кілька ключових інституцій (організацій, підрозділів, інституцій). Одна з них, Institution of Royal Engineers є професійною науковою спільнотою Корпусу королівських інженерів

¹⁷ Black, J. (2009). The military influence on engineering education in Britain and India, 1848–1906. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 46(2), 211–239. <https://doi.org/10.1177/001946460904600203journals.sagepub>

¹⁸ Kondrashev S. V., Sokolova I. M., Dobrokhotov V. S. Mathematics education and technology: Bibliometric analysis and systematic review (2000–2024) // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2024. Vol. 20, № 10. Article em2453. DOI: 10.29333/ejmste/16072. URL: <https://doi.org/10.29333/ejmste/16072> (дата звернення: 13.02.2026).

Британської армії, заснованою 1875 року з метою лобіювання (підтримки) військової інженерії через обмін досвідом, публікації та обговорення¹⁹.

Історичне підгрунття. Institution of Royal Engineers отримала Королівську хартію від короля Георга V у 1923 р. і розміщена поряд із Королівським музеєм інженерів та Королівською школою військової інженерії (далі – RSME) у місті Чатемі, Кент.

Основні напрями діяльності:

– видання *Royal Engineers Journal* (тричі на рік з 1870 р.), що замінило *Professional Papers* (1837–1918 рр.), з фокусом на інженерні інновації, історію та кращі практики;

– організація конференцій, семінарів та доступ до архівів (Corps History Vols I–XII);

– підтримка музею, бібліотеки та архіву для збереження спадщини, включно з Першою та Другою світовими війнами (залізниці, мости, тунелі, саперні підрозділи).

Institution of Royal Engineers виступає як вчене товариство, що має на меті розвиток науки військової інженерії шляхом обміну досвідом, найкращими практиками та новітнім мисленням. Інституція функціонує як професійна мережа, що об'єднує військових інженерів, забезпечує доступ до обширної бази знань. Така структуризація знань відображає комплексність завдань, які виконують військові інженери у сучасних умовах, та необхідність міждисциплінарного підходу до їхньої підготовки.

Публікаційна діяльність Institution of Royal Engineers включає випуск *Royal Engineers Journal*, який існує з початку двадцятого століття та є основним періодичним виданням корпусу, історія Корпусу складається з тринадцяти томів і охоплює період з 1066 по 2019 рік. Ці видання забезпечують документування досвіду операційної діяльності, розвиток доктринальних підходів та поширення інноваційних рішень серед особового складу. Інституція також підтримує *Royal Engineers Historical Society*, яке організовує конференції, семінари та дослідницькі заходи, спрямовані на вивчення історичного досвіду корпусу та його застосування в сучасному контексті.

Королівська школа військової інженерії (далі – RSME) є основною навчальною організацією, що забезпечує підготовку військових інженерів британської армії. Згідно з дослідженням Гаст (Gast) опублікованим у *Army Sustainment* у 2017 році²⁰, RSME Group знаходиться на передовій змін

¹⁹ The Institution of Royal Engineers : [веб-сайт] / The Institution of Royal Engineers. – URL: <https://www.instre.org/>. [Дата доступу: 06.02.2026].

²⁰ Gast S. U. Training the millennial sapper: Training transformation at the Royal School of Military Engineering // *Army Sustainment*. 2017. May–June. P. 30–33. URL: <https://alu.army.mil/alog/2017/MayJun17/TrainingMillennialSapper.html> (дата звернення: 13.02.2026).gale

у системі підготовки британської армії та впроваджує модернізацію військової підготовки через запровадження методів змішаного навчання. Школа щорічно забезпечує навчання близько шести тисяч семисот військовослужбовців, розробляє та проводить сто тридцять дев'ять курсів, що становить понад двісті двадцять тисяч навчальних днів на рік. Організаційна структура RSME Group включає три основні локації: місто Chatham у Бромптонських казармах, що є штаб-квартирою та місцем базового навчання, місто Minley де проводиться спеціалізована підготовка, та місто Hermitage.

Методологічна основа підготовки у RSME базується на підході Defence Systems Approach to Training (далі – DSAT), що є стандартизованим підходом Міністерства оборони Великої Британії до розробки, впровадження та забезпечення якості навчання в усіх підрозділах збройних сил. DSAT визначає тренування як функцію командування та безперервний прогресивний процес, що має бути релевантним, складним, цікавим, реалістичним, спрямованим на досягнення конкретних цілей, відображати операційну доктрину, допускати помилки, бути належним чином безпечним та підлягати постійному аналізу. Принципи DSAT включають систематичний аналіз потреб у навчанні, проектування навчальних програм, організацію їх проведення та забезпечення якості через моніторинг та оцінювання результатів. Процес DSAT ідентифікує потреби в новому або зміненому навчанні на основі змін у доктрині, організації, матеріально-технічному забезпеченні або політиці.

Впровадження змішаного навчання у RSME є результатом трансформації підготовки, що розпочалася в середині 2010-х років. Змішане навчання визначається як використання традиційних методів навчання, таких як очне викладання в класі, у поєднанні з сучасними навчальними технологіями, як централізованими, так і розподіленими. Ця навчальна модель використовує мережеву культуру покоління міленіалів та застосовує навички критичного мислення, отримані через досвід та рефлексію з використанням інформаційних технологій, колаборації та власності студента над процесом навчання.

Структура курсу зазвичай включає вісім днів функціональних навичок, сім днів навчання мобільності на рівні секції, п'ять днів контрмобільності на рівні секції, п'ять днів мобільності на рівні взводу, та два періоди по п'ять днів навчання виживанню на рівні взводу з фінальним польовим навчанням. Курс створює середовище, максимально наближене до операційного сценарію, засноване на вигаданому континенті, розташованому у Сполученому Королівстві, що дозволяє створювати реалістичні виклики, загрози та діяльність, з якими інженери зіткнуться після приєднання до армії.

Професійний розвиток та безперервна освіта в Corps of Royal Engineers підтримується через систему Continuous Professional Development, координовану Institution of Royal Engineers. Військова інженерія постійно еволюціонує та адаптується до вимог операційного середовища, і є викликом залишатися в курсі подій, але за підтримки промисловості та академічних кіл інституція здатна залишатися актуальною та пропонувати можливості підвищення кваліфікації. Прихильність до навчання протягом життя, безперервного особистого розвитку та CPD дозволяє залишатися актуальним та додавати цінність. Всі повинні прагнути будувати власні знання та досвід і встановлювати зв'язки як частина ширшої мережі військових інженерів, які є широкою спільнотою інтересів. Усі повинні мати доступ до навчання та кваліфікацій, що дозволяють їм досягати успіху у своїй військовій кар'єрі, а також підтримують їх у подальшому переході до цивільного життя.

Система професійної акредитації Institution of Royal Engineers узгоджена з Engineering Council UK та дозволяє отримати статус Chartered Engineer, Incorporated Engineer або Engineering Technician. Цей процес вимагає демонстрації компетентності для професійної акредитації. Інституція працює разом з іншими професійними інженерними інституціями для забезпечення узгодженості стандартів та визнання кваліфікацій. Професійна реєстрація не тільки підвищує статус військових інженерів, але й полегшує їхній перехід до цивільних професій після завершення військової служби.

Дослідницька діяльність в контексті військової інженерії підтримується через взаємодію з Royal Academy of Engineering, яка пропонує стипендії (гранти) для підтримки видатних дослідників на ранніх етапах кар'єри у становленні їхньої незалежності та міжнародної репутації. Програма забезпечує довгострокову підтримку, що дозволяє проведення амбіційної програми інженерних досліджень та впливу, розвиває амбасадорів для Академії та адвокатів дисциплін STEM.

Дослідження військової інженерної освіти демонструють унікальні характеристики цієї галузі. Стаття Родікова (Rodikov), опублікована в *Pedagogy and Education Management Review* у 2024 році²¹, аналізує системні характеристики професійної підготовки майбутніх спеціалістів інженерних військ. Специфіка навчального процесу військових навчальних закладів, включаючи поєднання військових та цивільних спеціальностей в одній освітній програмі та необхідність отримання

²¹ Rodikov, V. System characteristics of the professional training of future specialists of the engineering troops. *Pedagogy and Education Management Review*, 2024. (3(17)), 21–27. URL: <https://doi.org/10.36690/2733-2039-2024-3-21-27>.

обсягу знань, що дозволяє випускнику вирішувати військово-професійні завдання без досвіду виконання службових обов'язків, вимагає змін у військово-професійній підготовці курсантів, зокрема майбутніх спеціалістів інженерних військ. Системні характеристики підготовки майбутніх спеціалістів інженерних військ включають відповідність військовими навчальними закладами та спеціальними навчальними центрами набору вимог освітніх та професійних стандартів. Ці стандарти відображають бачення держави, суспільства та Міністерства оборони щодо цілісної особистості майбутніх спеціалістів інженерних військ.

Дослідження впливу відео-курсів на навчання в умовах воєнного часу, проведене Чизом (Chyzh) О. та колегами та опубліковане в *Amazonia Investiga* у 2024 році²², надає детальну класифікацію характеристик, типових для відеоконтенту у військовій інженерній освіті. Було визначено інтерактивне відео-орієнтоване навчальне середовище. Щодо формування професійної компетентності майбутніх офіцерів військової інженерії, інтерактивне відео-орієнтоване навчальне середовище було описане через певні вимоги. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення навчальної програми для майбутніх офіцерів військової інженерії. Використання відео як інструменту навчання стає особливо актуальним в умовах необхідності швидкої адаптації до мінливих операційних умов та передачі досвіду.

Управління знаннями у військовому контексті є критично важливим для забезпечення ефективності операцій. Дослідження Макінтайр (McIntyre) у *Canadian Military Journal* у 2003 році²³, підкреслює зростаючу важливість наявності переваги у знаннях над противниками. Нові технології призвели до все більш динамічного характеру військових операцій. Гнучкість стає важливою вимогою для таких систем, оскільки гнучкість у військових структурах може призвести до зменшення втрат серед особового складу, збереження сил та засобів.

Роль університетського партнерства в інженерній освіті, проаналізована у систематичному огляді літератури Шахом (Shah) Р. та колегами, опублікованому в *European Journal of Engineering Education* у

²² Chyzh, O., Smolinskyi, Y., Vyntu, A., Kiretov, V., & Chmyr, V. (2024). The impact of video on military engineering learning in wartime. *Amazonia Investiga*, 13(81), 260-271. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.81.09.2> (дата звернення: 13.02.2026). URL: <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/2867>

²³ McIntyre S. G., Gowrin M., Woroszynski B. Knowledge Management in the Military Context // *Canadian Military Journal*. 2003. Vol. 4, № 1. P. 15–22. URL: <http://www.journal.forces.gc.ca/vo4/no1/command-ordre-02-eng.asp> (дата звернення: 13.02.2026).

2023 році²⁴, демонструє важливість співпраці між академічними установами та промисловістю для забезпечення релевантності навчальних програм та підготовки студентів до професійної практики. Огляд виявив п'ять ключових дослідницьких питань: цілі співпраці університет-промисловість, теорії, що використовуються для керівництва такою роботою, типи методів, що застосовуються, найкращі практики, засновані на доказах, та галузі майбутньої роботи для дослідження. Ці висновки є релевантними для військової інженерної освіти, яка також вимагає тісної співпраці між навчальними закладами та операційними підрозділами для забезпечення відповідності підготовки реальним потребам.

Роль штучного інтелекту та цифрових технологій в інженерній освіті стає дедалі більш важливою. Дослідження *Enhancing Engineering Education through Virtual Reality*, опубліковане у *International Journal of Electrical and Computer Engineering* у 2025 році, досліджує інтеграцію віртуальної реальності та пов'язаних технологій в інженерній освіті, фокусуючись на педагогічних підходах, прийнятих у цій інтеграції. Дослідження охоплює основні статті, пов'язані з VR, опубліковані з 2015 по лютий 2024 року та індексовані в SCOPUS, Web of Sciences або обох, що обговорюють проектування, виклики розробки та інструменти співпраці. Емпіричні докази демонструють покращене залучення, мотивацію та результати навчання. Висновки пропонують сучасні уявлення для освітян та дослідників про використання VR для впливових навчальних досвідів. У контексті військової інженерної освіти VR може бути особливо корисною для симуляції небезпечних операцій, таких як розмінування або знешкодження вибухових пристроїв.

Система оцінювання та акредитації в інженерній освіті є критично важливою для забезпечення якості підготовки. UK Research Excellence Framework, проаналізований у статті Сміта (Smith), опублікованій у *Societies* у 2022 році²⁵, надає уроки щодо якості досліджень. REF є системою оцінювання якості досліджень у вищій освіті Сполученого Королівства, що проводиться приблизно кожні шість-сім років. Результати REF використовуються для розподілу фінансування досліджень та надання підзвітності для державних інвестицій у дослідження. Для військової інженерної освіти подібні системи забезпечення якості є важливими для підтримання стандартів та забезпечення відповідності підготовки операційним потребам.

²⁴ Shah R., Gillen A. L. A systematic literature review of university-industry partnerships in engineering education // *European Journal of Engineering Education*. 2023. DOI: 10.1080/03043797.2023.2253741. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03043797.2023.2253741> (дата звернення: 13.02.2026).

²⁵ Smith P. G. Research Quality—Lessons from the UK Research Excellence Framework // *Societies*. 2022. Vol. 12, № 3. P. 71. DOI: 10.3390/soc12030071 (дата звернення: 13.02.2026)

Міждисциплінарне навчання в інженерній освіті досліджене у статті *Social Regulation of Learning*, опублікованій Borrego у *European Journal of Engineering Education* у 2023 році, проводить порівняльне дослідження трьох міждисциплінарних групових проєктів, що вирішують реальні виклики. Напівструктуровані якісні інтерв'ю були синтезовані в наративні епізоди, що представляють ключові аспекти регулятивної поведінки груп. Були знайдені ознаки спільної регуляції в усіх групах з помітними відмінностями у фазах проєкту, що призвело до різного студентського досвіду. Обговорюються ключові фактори, що вплинули на регуляцію за чотирма темами: встановлення цілей та планування, впровадження моніторинг та оцінювання, роль супервайзерів, вплив дисциплін. У військовому контексті міждисциплінарна співпраця є критично важливою, оскільки військові інженери повинні працювати з різними родами військ та цивільними організаціями для досягнення цілей.

Використання проєктно-орієнтованого навчання в підготовці майбутніх офіцерів у США досліджене у статті Сантос (Santos) та колег у *Security and Defence Quarterly* у 2019 році²⁶, аналізує інтеграцію *project-based learning* у *military higher education* для розвитку критичного мислення та практичних навичок, має на меті визначити ефективність проєктних технологій у формуванні професійної компетентності майбутніх офіцерів. Було використано тестування та формувальний експеримент як методи дослідження. Дослідження проводилося з курсантами військових навчальних закладів. Кожен проєкт складався з організаційного, мотиваційного, дослідницького та заключного етапів, які включали рефлексію отриманих знань. Були визначені типові тенденції в трансформації професійної компетентності у військовій освіті. Було виявлено, що метод проєктно-орієнтованого навчання сприяє формуванню комунікативної, управлінської, мотиваційної компетентностей.

Роль менторства та професійного розвитку в інженерній кар'єрі також є предметом сучасних досліджень. *Research Fellowships* програма *Royal Academy of Engineering* включає менторську підтримку від *Fellows Академії* для надання порад щодо досліджень та розвитку кар'єри, зменшення викладацьких та адміністративних обов'язків для присвячення часу дослідженням, навчання та додаткові можливості фінансування, можливості для встановлення мережових зв'язків з іншими *Research Fellows*

²⁶ Santos L. A. B. dos, Loureiro N. A. R. S., Lima J. M. M. do V., Silveira J. A. de S., Grilo R. J. da S. Military higher education teaching and learning methodologies: an approach to the introduction of technologies in the classroom // *Security and Defence Quarterly*. 2019. Vol. 24, № 2. P. 123–139. DOI: 10.35467/sdq/108668 (дата звернення: 13.02.2026). URL: <https://securityanddefence.pl/pdf-108668-40442?filename=40442.pdf.securityanddefence>

та Academy Fellows, можливість встановити сильний дослідницький послужний список, що покращить шанси на отримання додаткового фінансування та розширення власних дослідницьких команд. У контексті військової інженерії менторство є критично важливим для передачі досвіду від старших офіцерів до молодших та для розвитку лідерських навичок.

Взаємодія з промисловістю та академічними установами є ключовою для забезпечення релевантності військової інженерної освіти. Institution of Royal Engineers підтримує зв'язки з Institution of Civil Engineers, організовуючи спільні професійні зустрічі та конференції. Такі заходи дозволяють обмінюватися досвідом між цивільними та військовими інженерами, обговорювати спільні виклики та розробляти інноваційні рішення. Наприклад, спільна професійна зустріч ICE та Institution of Royal Engineers у 2025 році надала платформу для обговорення сучасних інженерних викликів та можливостей для співпраці.

Система збору та аналізу досвіду є критично важливою для безперервного вдосконалення військової інженерної підготовки. Institution of Royal Engineers підтримує секцію Operational Experience у своєму Knowledge Centre, де систематизується досвід операцій для аналізу та впровадження уроків, що були засвоєні. Майбутні операції завжди базуються на досвіді минулих операцій. Royal Engineers були на передовій військових операцій понад триста років. Систематичний збір та аналіз досвіду дозволяє ідентифікувати прогалини в підготовці та адаптувати навчальні програми для кращої підготовки військових інженерів до майбутніх викликів.

Інтеграція сучасних технологій у військову інженерну освіту включає використання цифрових інструментів для планування, проектування та управління інженерними операціями. Digital Engineering є одним з напрямків діяльності Institution of Royal Engineers, що відображає важливість цифрової трансформації в військовій інженерії. Використання Building Information Modelling, Geographic Information Systems, дронів для розвідки та картографування, симуляційних систем для планування операцій стає стандартною практикою. Підготовка військових інженерів включає навички роботи з цими технологіями для забезпечення їхньої ефективності в сучасному операційному середовищі.

Розвиток лідерських компетентностей є невід'ємною частиною підготовки військових інженерів. Command and Leadership є одним з напрямків навчання в RSME Group²⁷. Військові інженери виконують

²⁷ Royal Engineers Phase 2 & 3 Training [Електронний ресурс]. URL: <https://bootcampmilitaryfitnessinstitute.com/military-training/armed-forces-of-the-united-kingdom/british-army-phase-2-specialis...> (дата звернення: 13.02.2026).

ролі, що вимагають не тільки технічних навичок, але й здатності керувати командами, приймати рішення в умовах невизначеності та координувати дії з іншими підрозділами. Підготовка включає розвиток навичок комунікації, прийняття рішень, управління ресурсами та лідерства в стресових ситуаціях. Використання реалістичних сценаріїв та симуляцій дозволяє курсантам розвивати ці навички в контрольованому середовищі перед застосуванням їх в реальних операціях.

Міжнародна співпраця в галузі військової інженерної освіти відіграє важливу роль у обміні досвідом та найкращими практиками. Royal Engineers підтримують зв'язки з військовими інженерними корпусами інших країн через участь у міжнародних навчаннях, обмінні програмах та спільних дослідницьких проектах. Такі ініціативи дозволяють вивчати різні підходи до вирішення інженерних викликів та адаптувати найкращі практики до власного контексту. Міжнародні конференції та семінари надають платформу для обговорення спільних викликів та розробки інноваційних рішень.

Етичні аспекти військової інженерної діяльності також є важливою складовою освіти. Військові інженери працюють у складних етичних ситуаціях, де технічні рішення мають значні гуманітарні наслідки. Підготовка включає обговорення етичних дилем, міжнародного гуманітарного права, захисту цивільного населення та інфраструктури, екологічних наслідків військових операцій. Institution of Royal Engineers підтримує обговорення цих питань через свої публікації та заходи, забезпечуючи, що військові інженери усвідомлюють свою відповідальність перед суспільством.

Система оцінювання компетентностей військових інженерів базується на чітко визначених стандартах та критеріях. Role Performance Statements визначають очікування щодо знань, навичок та поведінки для кожного рівня кваліфікації. Оцінювання включає як теоретичні тести, так і практичні демонстрації компетентності в реалістичних умовах. Використання системи FMVT дозволяє курсантам прогресувати у власному темпі, забезпечуючи майстерність перед переходом до наступного рівня. Це забезпечує, що всі випускники RSME відповідають встановленим стандартам незалежно від часу, необхідного для досягнення майстерності.

Адаптивність та гнучкість навчальних програм є критично важливими в умовах швидкого технологічного розвитку та мінливого операційного середовища. Система DSAT включає механізми для регулярного перегляду та оновлення навчальних програм на основі змін у доктрині, організації, матеріально-технічному забезпеченні або політиці. Робочі групи, що включають експертів предметних галузей, операційних командирів

та спеціалістів з навчального проектування, регулярно аналізують ефективність навчання та вносять необхідні коригування. Такий систематичний підхід забезпечує, що підготовка залишається релевантною та ефективною.

Фінансова ефективність військової освіти є важливим фактором в умовах обмежених бюджетів. Впровадження інновацій, таких як змішане навчання, комп'ютерне навчання та симуляції, дозволяє досягти значних економій. Проект COMBAT SAPPER досяг середнього скорочення часу навчання на тринадцять відсотків, заощадивши п'ятдесят чотири тисячі шістсот навчальних днів військовослужбовців. Це не тільки зменшує прямі витрати на навчання, але й дозволяє швидше розгорнути підготовлених спеціалістів до польової армії. Водночас важливо забезпечити, що економії не досягаються за рахунок якості підготовки, і система забезпечення якості уважно моніторить ефективність навчання.

Психологічна підготовка та стійкість є важливими аспектами військової освіти. Військові інженери працюють у стресових та небезпечних умовах, тому їхня психологічна підготовка є критично важливою для ефективного виконання завдань. Навчальні програми включають елементи стрес-менеджменту, розвитку стійкості та командної згуртованості. Використання реалістичних сценаріїв з симуляцією стресових факторів допомагає курсантам розвивати психологічну стійкість та навчитися ефективно функціонувати під тиском.

Культура безперервного вдосконалення є фундаментальною для військової організації. Corps of Royal Engineers підтримує культуру, де всі прагнуть вдосколювати свої навички та знання протягом кар'єри. Це включає формальні програми CPD, самонавчання, участь у професійних заходах та обмін досвідом з колегами. Institution of Royal Engineers забезпечує інфраструктуру для підтримки цієї культури через свої публікації, заходи та мережу професійних контактів. Така культура безперервного вдосконалення забезпечує, що корпус залишається на передовій військової інженерії та здатний адаптуватися до нових викликів.

Інтеграція з національною системою кваліфікацій є важливою для забезпечення визнання військової підготовки у цивільному секторі. RSME забезпечує, що навчання узгоджене з національно визнаними кваліфікаціями, що дозволяє військовослужбовцям отримувати цивільні сертифікати разом з військовими кваліфікаціями. Це полегшує перехід військовослужбовців до цивільного життя після завершення служби та забезпечує, що їхні навички визнаються потенційними роботодавцями. Співпраця з Mid Kent College Training Services та Pearson TQ у рамках

публічно-приватного партнерства (Public Private Partnership) забезпечує, що навчання відповідатиме як військовим, так і цивільним стандартам²⁸.

Використання переваг партнерств (partnerships) у навчанні є ключовою особливістю моделі RSME, що забезпечує поєднання військової експертизи з професіоналізмом приватного сектору в галузі навчального проектування та проведення. Така модель дозволяє використовувати найкращі практики обох секторів та забезпечує гнучкість у впровадженні інновацій. Відкритий та чесний партнерський підхід забезпечує успішне навчання, що перевищує вимоги RSME та демонструє можливості ефективної співпраці між публічним та приватним секторами.

Інфраструктурний менеджмент є важливою складовою забезпечення ефективного навчання. Holdfast Training Services Ltd, консорціум у рамках PPP з MoD, відповідає за управління майном та об'єктами на трьох локаціях RSME Group, включаючи понад двісті п'ятдесят будівель (технічні склади, автомайстерні, морські майстерні, моторний транспорт та інші об'єкти підтримки)²⁹. Ефективне управління інфраструктурою забезпечує, що навчальні об'єкти підтримуються в належному стані та доступні, коли потрібно. Розробка довгострокового плану інфраструктури спрямована на консолідацію простору об'єктів та максимізацію енергетичної ефективності та операційних витрат.

Роль музеїв та історичної спадщини у збереженні традицій корпусу є важливою. Royal Engineers Museum у Чагамі зберігає колекції, що документують історію корпусу з часу його заснування. Музей не тільки зберігає артефакти та документи, але й виконує освітню функцію, надаючи ресурси для дослідників та забезпечуючи зв'язок між минулим та сучасністю. Розуміння історії корпусу допомагає військовим інженерам усвідомити традиції, які вони продовжують, та надихає їх на досягнення високих стандартів професіоналізму.

Система підготовки кадрів Royal Engineers демонструє комплексний підхід до військової інженерної освіти, що поєднує традиційні цінності з інноваційними методологіями. Організація наукової діяльності через Institution of Royal Engineers забезпечує систематизацію знань, обмін досвідом та безперервне професійне вдосконалення особового складу. Впровадження інноваційних підходів, таких як змішане навчання та проектно-орієнтоване навчання, у Royal School of Military Engineering

²⁸ Babcock International. RSME (Royal School of Military Engineering) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.babcockinternational.com/what-we-do/support/training/rsme-royal-school-of-military-engineering/> (дата звернення: 13.02.2026).

²⁹ Royal Engineers Phase 2 & 3 Training [Електронний ресурс]. URL: <https://bootcampmilitaryfitnessinstitute.com/military-training/armed-forces-of-the-united-kingdom/british-army-phase-2-specialis> (дата звернення: 13.02.2026).

демонструє адаптацію до сучасних освітніх тенденцій при збереженні військового етосу (етичних правил) та практичної спрямованості підготовки. Партнерство з приватним сектором і академічними установами забезпечує доступ до найкращих практик, інновацій та ресурсів. Система забезпечення якості освіти на основі системного підходу до навчання гарантує, що освітні програми зберігають релевантність та практичну спрямованість. Культура безперервного вдосконалення та прихильність до професійного розвитку особового складу забезпечують, що Корпус королівських інженерів Британської армії зберігає лідерські позиції у сфері військової інженерії та здатен адекватно відповідати на сучасні виклики.

ВИСНОВКИ

Збройна агресія проти України та динаміка розвитку Державної спеціальної служби транспорту (далі – Держспецтрансслужба), розширення її функцій та напрямів діяльності поставили на порядок денний питання розвитку та реформування Держспецтрансслужби з урахуванням найкращого досвіду у військовій сфері країн-партнерів. Підставами таких змін є накопичений практичний (зокрема бойовий) досвід підрозділів, а також досвід закордонних військових інституцій відповідного функціонального спрямування, насамперед – Корпусу інженерів армії США та Корпусу королівських інженерів Британської армії, які є об'єктами досліджень в рамках цього дослідження.

Основними завданнями Державної спеціальної служби транспорту (в редакції Закону № 4631-IX від 09.10.2025) є:

- технічне прикриття, відбудова, встановлення загороджень на об'єктах єдиної транспортної системи України з метою забезпечення діяльності Збройних Сил України та інших військових формувань, утворених відповідно до законів України;

- капітальне будівництво, реконструкція об'єктів і споруд загальновійськового та спеціального призначення, у тому числі військових інженерно-технічних та фортифікаційних споруд, а також об'єктів нерухомості та інфраструктури у сфері управління Міністерства оборони України;

- виявлення та/або очищення об'єктів та місцевості (водних акваторій) від вибухонебезпечних предметів;

- охорона та оборона об'єктів державного значення єдиної транспортної системи України;

- виконання інших завдань, пов'язаних із участю в обороні держави та забезпеченням ефективного функціонування єдиної транспортної системи України.

Таким чином, завдання Держспецтрансслужби мають певний функціональний перетин з завданнями як Корпусу інженерів армії США так і Корпусу королівських інженерів Британської армії. у напрямках інженерного забезпечення та інших, що обґрунтовує доцільність адаптації їхніх організаційних моделей наукової діяльності для потреб сил оборони України.

Очікуваними результатами дослідження та формою їх реалізації є висновки та рекомендації щодо розвитку науково-дослідної діяльності Держспецтрансслужби (з метою створення інноваційних технічних рішень), зокрема доцільності створення науково-дослідного центру Держспецтрансслужби та в подальшому набуття їм спроможностей для виконання завдань за призначенням.

АНОТАЦІЯ

Досліджено окремі питання створення інноваційних технічних рішень для сталого розвитку України та країн ЄС та організацію наукової і науково-технічної діяльності у військовій сфері на прикладі Корпусу інженерів армії США та Корпусу королівських інженерів Британської армії.

Здійснено бібліометричний аналіз публікацій в наукометричних базах Scopus та Web of Science щодо питань створення інноваційних технічних рішень для сталого розвитку України та країн ЄС та наукової та науково-технічної діяльності у напрямку військовій інженерії країн-партнерів. Зазначені публікації є вкрай малочисельними в українському науковому дискурсі.

Встановлено, що завдання та функції визначених складових сил оборони України (зокрема – Держспецтрансслужби) мають певний функціональний перетин з завданнями та функціями як Корпусу інженерів армії США так і Корпусу королівських інженерів Британської армії у напрямках інженерного забезпечення та інших, що обґрунтовує доцільність адаптації їхніх організаційних моделей наукової діяльності для потреб сил оборони України.

Досліджено сучасну організацію створення інноваційних технічних рішень та наукової діяльності у Корпусі інженерів армії США та Корпусі королівських інженерів Британської армії. З'ясовано, що центральним елементом науково-дослідної діяльності американського корпусу виступає Інженерний центр досліджень та розробок, який об'єднує сім спеціалізованих лабораторій, розташованих у різних географічних локаціях Сполучених Штатів. Визначено, що цей центр здійснює координацію науково-технічної політики, планування та нагляд за дослідженнями як для військових, так і для цивільних програм корпусу інженерів.

Виявлено механізми створення інноваційних технічних рішень впровадження результатів наукової діяльності через систему акселерації технологій, співпрацю з університетами та федеральними агентствами, а також укладання контрактів з Міністерством оборони.

Для Корпусу королівських інженерів Британської армії визначено дуалістичну організаційну структуру наукової та науково-технічної діяльності. Досліджено роль Королівської школи військової інженерії як основної навчальної організації. Проаналізовано методологічну основу підготовки, яка базується на підході оборонної системи до навчання, що є стандартизованим підходом Міністерства оборони Великої Британії до розробки, впровадження та забезпечення якості навчання в усіх підрозділах. З'ясовано систему професійної акредитації інституції королівських інженерів, досліджено взаємодію з Королівською академією інженерії. Проаналізовано систему збору та аналізу досвіду, виявлено інтеграцію сучасних технологій, як один з напрямків, що включає використання цифрових інструментів для планування, проектування та управління.

Здійснено порівняльний аналіз моделей організації наукової діяльності та впровадження результатів у обох корпусах. Визначено, що американська модель акцентує масштабний централізований підхід, тоді як британська модель зосереджена на професійній мережі. Встановлено функціональну конвергенцію у напрямках, зокрема у сфері знешкодження вибухонебезпечних предметів, будівництва фортифікаційних споруд та геопросторових технологій. Обґрунтовано актуальність адаптації досвіду обох корпусів для розвитку наукової діяльності у військовій сфері в контексті євроатлантичної інтеграції України та повоєнного відновлення держави.

Література

1. Бондар В. Ю., Нестеров Д. Ю. Можливості використання елементів штучного інтелекту в діяльності Державної спеціальної служби транспорту // *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences*. 2025. DOI: 10.36074/logos-09.05.2025.043

2. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 02.12.2020 № 1556-р : станом на 29 груд. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-p#Text>.

3. Хоменко Є. В., Чеханюк Б. Є., Нестеров Д. Ю., Светлічний І. В. Виклики та перспективи підготовки військових кадрів та організації наукової роботи у Державній спеціальній службі транспорту: досвід Корпусу інженерів армії США. Baltija Publishing. 2025. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/608/16373/34603-1> DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-570-9-17>.

4. Нестеров Д. Ю., Примаченко В. Ф., Хоменко Є. В., Светлічний І. В., Бесараб П. М. Освітня та наукова діяльність як засіб модернізації військової інституції: досвід Корпусу інженерів. *Модернізація вищої освіти України в контексті глобалізації. Монографія / за загальною редакцією А. М. Івановської*. Кам'янець-Подільський. Зклад вищої освіти «Подільський державний університет». Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2025. 344 с. ISBN 978-9934-26-560-0. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-560-0-35> URL: <http://188.190.43.194:7980/jspui/handle/123456789/14226>

5. Будз В. П., Костира С. В., Светлічний І. В. Розмінування як основа повоєнного відновлення України. *Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки*. 2025. С. 128-130. URL:

6. Хоменко Є. В., Светлічний І. В., Чеханюк Б. Є., Бондар В. Ю. Історичний розвиток корпусу інженерів армії США // НАУКА ОНЛАЙН: Міжнародний науковий журнал. – 2025. – №2 (лютий). С. 6 – 21. DOI: <http://dx.doi.org/10.25313/2524-2695-2025-2-06-21> URL: <https://nauka-online.com/publications/other/2025/2/06-21/>.

7. Краснов Р. В., Шумлянський С. В., Светлічний І. В. Використання штучного інтелекту у військовій галузі: ризики та загрози для особового складу. *Human rights and public governance : Scientific monograph*. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2025. 772 р. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-608-9-19>. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/648/17211/36576-1>.

8. Хоменко Є. В., Светлічний І. В. Відновне правосуддя у військових та воєнних злочинах: історичні аспекти. *Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди відзначення Міжнародного дня прав людини (м. Київ, 5 грудня 2024 року)*. Київ: ДНДІ МВС України, 2024. 371 с. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/15875/1/Збірник_матеріалів_МВС..pdf#page=198

9. Шумлянський С. В. Светлічний І. В. Інтелектуалізація воєнного мистецтва: застосування штучного інтелекту Китаєм у військовій сфері та його геополітичні наслідки. *Журнал Інституту сходознавства "Китаєзнавчі дослідження" №2*. 2025

10. Шумлянський С. В., Хоменко Є. В., Светлічний І. В. Сталість як засада функціонування військових інституцій (на прикладі Корпусу інженерів Армії США). *Тези конференції Сталий розвиток економіки, підприємств та суспільства 10-11 квітня 2025 р. м. Івано-Франківськ*. С. 816-818 URL: https://zenodo.org/records/15383186/files/_13Бірінник_майже_кінець_після_перегляду2%20.pdf. ISBN 978-617-8341-15-2 DOI: <https://zenodo.org/records/15383186>

11. Шумлянський С. В., Хоменко Є. В., Светлічний І. В., Смель'янова С. М. Aspects of Sustainability in the Activities of Military Formations *Збірник матеріалів V Всеукраїнського форуму судових експертів* 06 червня 2025 м. Львів. 2025 URL: https://ondise.minjust.gov.ua/wp-content/uploads/2025/08/forum_ondise_law_2025.pdf

12. Светлічний І. В., Хоменко Є. В., Шумлянський С. В. Парадигма відновлювальності у діяльності військових формувань на прикладі корпусу інженерів армії США. *Сучасні проблеми екологічної психології: психологічні засади утворення екологічного життєвого простору*. Інститут психології імені Г. С. Костюка НАПНУ. м. Київ. 2025. С. 124-128. URL: http://www.ecopsy.com.ua/data/conf_2025/2025_05_14-15_EcoPsy_Tes.pdf#page=125

13. Светлічний І. В., Шумлянський С. В., Будз В. П. Застосування штучного інтелекту у забезпеченні виконання військових завдань: ризику та загрози // Актуальні засади логістики та підтримки військ у російсько-українській війні : зб. матер. наук.-практ. семінару, 30 квітня 2025 р., Нац. ун-т оборони України, м. Київ. – Київ : Нац. ун-т оборони України, 2025. – С. 86. URL: <https://www.scribd.com/document/922719667/Nuou-eBook#page=86>.

14. Светлічний І. В. Підготовка майбутніх фахівців з напрямку відновного правосуддя: основні поняття, вітчизняний і зарубіжний досвід імплементації, філософська пропедевтика в педагогіці. *Professional training of future specialists amidst modern realities : кол. моногр.* Том 2. Baltija Publishing. 2025. С. 367–386. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-522-8-43>.

15. Black J. The military influence on engineering education in Britain and India, 1848–1906. *The Indian Economic and Social History Review*. 2009. Vol. 46, No. 2. P. 205–237. DOI: <https://doi.org/10.1177/001946460904600203>

16. Kondrashev S. V., Salleh S. M., Tanalol S. H., Abdullah Z. Research trends in engineering education research through bibliometric analysis. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2024. Vol. 20, No. 7. Article No. em2476. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/14760>

17. Chmyr V., Koriekhov A., Psol S., Partyka S. Fostering digital transformations in military engineering education: Introduction of a technology-enhanced learning environment. *Problems of Education in the 21st Century*. 2024. Vol. 82, No. 2. P. 162–185. DOI: <https://doi.org/10.33225/pec/24.82.162>

18. Kucherov D., Koriekhov A., Psol S. The impact of video on military engineering learning in wartime. *Amazonia Investiga*. 2024. Vol. 13, No. 81. P. 260–271. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.81.09.20>

19. Borrego M., Douglas E. P., Amelink C. T. The development of engineering education research: A UK based case study. *European Journal of Engineering Education*. 2022. Vol. 47, No. 6. P. 1277–1296. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2121686>

20. Downey R., McGaughey K., Leydens J. A. A systematic literature review of university-industry partnerships in engineering education. *European Journal of Engineering Education*. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 392–413. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2253741>

21. Bielefeldt A. R. The evolution of service learning in engineering education: a bibliometric review of research (1995–2023). *European Journal of Engineering Education*. 2024. Vol. 49, No. 6. P. 1084–1108. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2368148>

22. Alhammadi D. K., Narong D. K., Hallinger P. Traversing the evolution of research on engineering education for sustainability: A bibliometric review (1991–2022). *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 2. Article No. 641. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16020641>

23. Godwin A., Potvin G., Hazari Z., Lock R. M. Investigating engineering identity development and stability amongst first-year engineering students: a person-centred approach. *European Journal of Engineering Education*. 2023. Vol. 49, No. 2. P. 247–265. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2262412>

24. Picard C., Hardebolle C., Bonnabry P., Gauthier J., Jermann P., Joly M., Mondada F., Nendaz M., Schumacher R., Tormey R. Which professional skills do students learn in engineering team-based projects? *European Journal of Engineering Education*. 2021. Vol. 47, No. 6. P. 1062–1082. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2021.1920890>

25. Cate K. L., Albright K. S., Hixon J. G. Transitions of student military veterans into engineering education. *Social Sciences*. 2021. Vol. 10, No. 6. Article No. 228. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci10060228>

26. Qiu S., Shan L., Xiao X., Yang Y. Fifty-three years of the *Journal of Engineering Education*: A bibliometric overview (1969–2021). *Journal of Engineering Education*. 2024. Vol. 113, No. 1. P. 169–192. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20547>

27. Borrego M., van Reenen D., Knight D. B. Social regulation of learning in interdisciplinary groupwork. *European Journal of Engineering Education*. 2023. Vol. 49, No. 1. P. 99–119. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2285794>

28. Edström K., Kolmos A., Malmi L. Engineering education in change: A case study on the impact of digital transformation on content and teaching methods in different engineering disciplines. *European Journal of Engineering*

Education. 2023. Vol. 49, No. 1. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2285794>

29. Zubenko O., Topolov V., Tykhovskiy O. The role of project-based learning in the training of future officers. *Eduweb*. 2023. Vol. 17, No. 4. P. 213–224. DOI: <https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2023.17.04.19>

30. Rodikov V., Telelym V., Bondar V. System characteristics of the professional training of future engineering troops specialists. *Pedagogy and Education Management Review*. 2024. Vol. 3, No. 17. P. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.36690/2733-2039-2024-3-8>

31. Bill N. A. Pioneering education for a unique engineering profession – British military engineers. *Proceedings of the Sixth International Congress on Construction History* / ed. by K. van Balen, E. Verstrynghe. Leiden : CRC Press, 2018. P. 257–264. URL: https://www.arct.cam.ac.uk/sites/default/files/p257_bill.pdf (дата звернення: 28.01.2026).

32. Leidig P. A., Shen H., Oakes W. C. Capstone design in engineering community engagement: An EWB-USA and EPICS case study. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. 2023. Vol. 149, No. 1. Article No. 04022029. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000071](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000071)

33. Gast K. W. Training the Millennial Sapper: training transformation at the Royal School of Military Engineering. *Army Sustainment*. 2017. Vol. 49, No. 3. P. 42–45. URL: <https://alu.army.mil/alog/2017/mayjun17/pdf/AS49-3.pdf> (дата звернення: 28.01.2026).

34. Brooks D. A. J. Training the military engineer: a study of assessment and its relationship to competence. PhD Thesis. Milton Keynes : The Open University, 2002. 401 p. DOI: <https://doi.org/10.21954/ou.ro.0000d7e2>

Information about the authors:

Khomenko Yevhen Valentynovych,

Postgraduate Student,

Commander of the Research Center,

Research Center of the State Special Transport Service,

Dnipro, 49094, Ukraine

Svietlichnyi Igor Valeriiovych,

Postgraduate Student,

Research Center of the State Special Transport Service,

Dnipro, 49094, Ukraine

Bondar Viktor Yuriiovich,
Deputy Head of the Research Center,
Research Center of the State Special Transport Service,
Dnipro, 49094, Ukraine

Korotchenko Oleksandr Oleksandrovych,
Head of the Operations Department,
Administration of the State Special Transport Service,
Kyiv, 02094, Ukraine

**DEVELOPMENT OF LAND LEGISLATION
AS A CONDITION FOR STRENGTHENING
UKRAINE'S DEFENCE RESILIENCE**

Sharyi G. I., Kariuk A. M., Mishchenko R. A.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-24>

INTRODUCTION

Modern institutions and individual institutions of land legislation in Ukraine create conflicts of law, ambiguous interpretations, often have no direct effect, and in case of their violation, legal consequences.

Under the current land relations in society, protest sentiments are forming, attention is being drawn to social injustice and corruption, shadow trading of land rights and the underground land economy.

In recent years, Ukraine has seen a sharp decline in natural soil fertility, an increase in land parcelling and long-distance farming, and a reduction in the area of reclaimed land, perennial crops and forest reclamation plantations.

The research is aimed at overcoming the crisis in the land sector, which is exacerbated not only by the war, but also by unfair land rents, unfair land taxes and payments. Changes to the rules of the game in the land sector have been identified and proposed, and environmentally friendly, socially just and environmentally oriented land legislation has been developed and adopted. The unwillingness of citizens to fulfil their constitutional obligations must be incompatible with land ownership.

PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

Political populism and extreme liberalisation of land relations in Ukraine over the past 30 years, for the sake of political dividends for the ruling elite, have led Ukraine's land relations into institutional traps¹.

According to the authors and many scholars, the Ukrainian government not only failed to fulfil its constitutional duty to protect part of Ukraine's land from

¹ Корольова В.В., Кисляк Є.В. Україна та її розвиток в умовах Євроінтеграції. *Правничий вісник університету «Крок»*. 2020. № 38. С. 125–132. URL: <https://dspace.krok.edu.ua/handle/Krok/2843> (дата звернення 15.01.2025).

aggression, but also failed to bring the land out of the economic underground, allowing a consumerist and opportunistic attitude towards the natural fertility of arable land, where unfairly distributed land rent is consumed by land users rather than the people of Ukraine, and unfair land taxes and land payments are in place².

The parcelling of agricultural land as a result of land distribution and the redistribution of state-owned land reserves for private farming, fragmentation, strip farming, smallholdings, and distant fields are the result of ill-conceived reforms and land transformations over the last 35 years of land reform.

The current land issues are becoming particularly acute, as the redistribution of land to farmers, a third of whom still do not have the means to cultivate it but do have income, and corrupt privatisation without compensation are causing concern among the landless majority of the Ukrainian people, who are constitutionally entitled to land and who defend the state, while those who have emigrated abroad do not lose their land rights in Ukraine..

The Land Code of Ukraine has not established a legal framework that corresponds to contemporary social relations and contemporary geopolitical, and especially military, challenges. At the time of its adoption, the 2001 Land Code lagged years behind social needs and current events and drove land relations into a series of legal traps..

Thus, the 2001 edition of the Land Code regulated land relations on agricultural land from a socialist perspective, legalising land division and almost completely ignoring the spatial development needs of industry, urbanised areas, easement relations, mortgages and the inclusion of land in economic circulation, the need to capitalise land relations on a market basis, which would ensure the movement of land as the main means of production to legal entities that would ensure the most rational, highly productive and efficient use of land, combining private, public, social and state interests in line with the development of ecological, food, economic security and defence geopolitical stability of Ukraine.

It was precisely the ambiguity and injustice of the land issue resolution in favour of the national bourgeoisie that undermined the stability of Ukrainian governments and rulers during many political struggles for Ukraine's independence. Conversely, political forces that acted in favour of socialisation and land equality, as well as the nationalisation of land, came to power with the support of empires and conquerors, because for Ukrainian peasants, land issues were more important than geopolitical and national issues.

² Коваленко Т.О. Юридичні дефекти земельно-правових норм: підходи до класифікації. *Вісник Академії адвокатури України*. 2011. № 2. с.237–240: URL: http://hbuv.gov.ua/UJRN/vaau_2011_2_44 (дата звернення 10.01.2025).

For example, one of the remnants of the past is the continued use of state and communal land by private enterprises that are the legal successors of former state-owned enterprises and institutions that had a social, industrial, recreational, and health-related focus. Currently, commercial structures conduct commercial and production activities on state-owned land without any socially significant component, often at odds with public interests. The legislator must eliminate the category of permanent use, transferring state-owned land to the ownership of state-owned and municipal enterprises and institutions, or on lease terms for use by private entities and public organisations.

The issue of establishing a comprehensive state land cadastre requires legislative regulation. In the absence of strict mandatory rules for registering land plots, land users and landowners have incomplete land and urban planning cadastres. The cadastral trap has affected land statistics reporting, which the state has not collected since 2016, and the system of filling budgets from land payments.

Rational state regulation of systematic land development requires mandatory completion of the State Land Cadastre and restoration of State statistical land reporting and cadastral objective market valuation of land for taxation and land circulation and turnover purposes.

Inaccurate cadastral maps and the registration of private land plots in the absence of inventory and registration of state-owned forest, water and nature reserve lands, transport and defence lands, and lands of historical, cultural and recreational significance have also created registration and cadastral problems.

Thus, when conducting an inventory of the lands of the State Enterprise 'Forests of Ukraine,' it is impossible to complete the specified work due to the large number of 'overlaps' and erroneously or deliberately entered land plots that overlap existing forest areas, lands of the nature reserve fund, state lands of the Ministry of Defence, including surface water bodies and roads. Lands of historical and cultural significance are located under historical and cultural heritage sites, which include thousands of burial mounds, memorial burials, and archaeological sites, most of which have not been inventoried and are not marked on cadastral plans and maps.

The current methods of normative monetary valuation (NMV) of agricultural land do not correspond to the economic essence of land relations. As a result, NMA is underestimated by 5-6 times and brings rent to a level of 10-20% or more of NMA (capitalisation terms indicate rent levels of 2-3-5% of land valuation in EU countries)..

Table 1 shows the results of land auctions for the right to lease municipal land in the Poltava region, where the lease payment exceeds the NGA of land plots..

Table 1

**Results of lease rights auctions in Poltava region
September – October 2025**

Winner	Date of trading	Arable land area, hectares	Amount ths. UAH.		Notes (addresses, land plots)	Average rent ¹ hectares / ths. UAH.
			Start	Actual		
Farm Enterprise «Raduga»	16.09.25	3,29	19,1	100,2	Poltava Raion Skorokhodivska Hromada	≈ 32,0
LLC «Vera-Tas»	23.09.25	5,12	20,1	189,6	Reshetylivka Poltava Raion	≈35,0
LLC 'Demetra-Veles'	10.10.25	11,01	46,1	550,0	V. Bahachka Myrhorod Raion	50,0
LLC «Agro-Peremoga»	16.10.25	11,5	40,2	437,0	Zavodska City Hromada Myrhorod Raion	41,0
LLC «Agro-Peremoga»	17.10.25	17,4	60,8	578,0	-/-	35,0
Farm Enterprise «Pishchane-Agro»	17.10.25	18,1 (pasture)	85,6	255,0	Pishchanska Hromada Kremenchuk Raion (Pastivnyk-supisok (pasture sandy loam))	14,0
LLC «Erder»	22.10.25	20,0	97,0	590,0	Nekhvoroshchanska Hromada Poltava Raion	29,5

The imperative determination of the normative monetary valuation (NMV) by the Government of Ukraine underestimates land taxes (absolute rent) for the people of Ukraine and lease payments to private landowners for communal and state-owned lands. Similarly, the NMV of lands in many towns and villages of Ukraine has become outdated.

In Poltava, the normative monetary valuation (NMV), conducted over 15 years ago, has also lost its economic relevance in the context of the city's spatial development. Indexation, without consideration of valuation zones, sets an average normative monetary value per square meter of the city at approximately 4,000 UAH. Under the conditions of war, this drives land payments into the shadow economy, hinders land acquisition, and results in unfairly undervalued or overvalued land payment levels in many parts of the city. Over the past 15 years, changes have occurred in economic activity zones, centers of economic gravity, sanitary protection zones, and many other urban planning conditions and factors influencing restrictions and encumbrances.

The regulations on free privatization have revealed and continue to reveal an economically and socially destructive nature in the gratuitous redistribution of state and communal lands for personal peasant farming (PPF) and communal lands for construction purposes. The original and intended nature of PPF—as solely the personal labour of a citizen without leasing or resale—has been lost and distorted.

Agricultural lands were gratuitously allocated by the State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre (StateGeoCadastre), often following corrupt schemes, to residents of Odessa, Kyiv, Poltava, and other cities through village councils in the Poltava region, for the purpose of resale and speculation. As a result, rural communities partially lost communal reserve lands and sources of local development. Lands that had belonged to local peasants for generations were privatized for personal peasant farming (PPF) by residents of other regions who had long emigrated, and these lands were often resold two to three times within a single year, mainly in speculative and shadow-market transactions. Additionally, the redistribution of lands by the StateGeoCadastre through executive orders to establish farm enterprises caused particular problems, as it destroyed state-owned enterprises, deprived rural communities and local peasants of land, and concentrated thousands of hectares in a single hands across various land plots..

The absence of regulations on indivisible inheritance, land indivisibility, and consolidation has led to the parcelling of previously intact land blocks, which has negatively affected agricultural practices and halted reclamation works on irrigated and drained lands (Fig. 1).

In Ukraine, there is currently a large-scale occurrence of waterlogging and spontaneous afforestation of natural fodder lands (hayfields and pastures) as well as arable lands, while, on the other hand, tens of thousands of hectares of meadows have been ploughed without authorization. Phenomena of flooding and desertification have become widespread. The degradation of agricultural lands requires state monitoring and control, the restoration of the national land reclamation system, the introduction of economic incentives and sanctions, as well as the maintenance of state land statistical reporting.

The effect of land management regulations regarding land protection can be omitted from discussion, as most of them lack effective mechanisms and legal consequences for influencing land relations. Under the pressure of artificial interventions, natural soil fertility not only rapidly declines but also leads to soil degradation, land desiccation, soil fatigue, and soil toxification. An example of a typical crop structure can be observed in the Poltava region (Table 2).



Fig. 1. Land Use Plan of Agricultural Lands of the Rashiv Starostate of the Lutenka Village Council with Delineation of Land Users

Table 2

Agricultural Land Use in Poltava Region, 2000–2024 (thousand hectares)

	2000 year	2013 year	2024 year
Agricultural Lands	2186,5	2166,0	2233,0
Perennial Plantations	12,5	8,8	6,1
Sown Areas	1560	1302	1729
Maize	340	402	528
Sunflower	163	251,2	384
Soybean	80	192,8	285
Rapeseed	2,0	8,1	47,0
Perennial Grasses	109	35,0	26,9
Winter Wheat	403	235	259
Pea	18,0	6,5	9,4
Organic Fertilizers Applied (thousand tons)	2319,0	1566,2	1400

The shadow economy has severely impacted strategically important lands in Ukraine, such as those of the Ministry of Defense, which have decreased multiple times compared to 1990, primarily outside the legal framework. Despite evident violations during the redistribution of defense lands, law

enforcement agencies have been slow to return strategically important lands to the state, even under wartime conditions. Consequently, the redistribution of these lands occurred largely through corrupt schemes.

In the absence of reliable statistical information on the state of lands, landowners, and land users, it is difficult to implement rational state regulation of land relations and even more challenging to develop a crisis land management system in border and frontline territories.

It is also evident that the unlimited ability of individuals to acquire homestead and dacha plots, personal peasant farming (PPF) plots, and land shares in a single hand creates a situation—especially in border areas—where certain citizens purchase 50 or more homesteads in villages for next to nothing, taking advantage of extreme rural poverty. As a result, former dacha cooperatives and rural settlements are replaced either by “manorial” estates or, conversely, by wastelands, “transboundary corridors,” and plots along the border that remain uncontrolled by the state.

Tens of thousands of plots, including homesteads, land shares, and personal peasant farming (PPF) lands, have not been used for their intended purpose for years. Millions of plots remain outside official registries and cadastres, and there are no effective legal mechanisms for their reclamation. Similarly, society demands regulation and the nationalization of land ownership from citizens who act or have acted against the interests of our country.

The examples presented represent only a small portion of the land-related problems that the 2001 Land Code has failed to address, despite numerous amendments and additions in recent years. Over 24 years, the Verkhovna Rada of Ukraine has amended the Land Code more than 70 times. Nevertheless, the current code remains one in which transitional provisions outweigh the codified norms of the Land Code in terms of volume.

Ukrainian scholars pay particular attention to the branch of law represented by land legislation, even recognizing a separate scientific discipline—“Land Law.” Throughout all stages of historical development, land relations have played a decisive role in Ukrainian society, particularly during periods of military upheaval, which have exacerbated land-related issues. For Ukrainians, land policy represents both the alpha and omega of political life, and the fair resolution of land issues determines the political and social stability of the authorities, as well as their support from citizens and civil society.

Ukrainian scholars study and analyse the current state of the Ukrainian land legislation system and the development of land relations in the context of European integration. In this regard, V. V. Korolyova emphasizes

the fragmentation of the norms regulating land relations, noting the inadmissibility of numerous legal conflicts and highlighting the need to revise approaches to the classification of normative legal acts within Ukrainian land legislation³.

T. Kovalenko, in studying the legal aspects of adapting Ukrainian land legislation to EU law, emphasizes the necessity not merely to borrow Western “legal products,” but to improve the established national legal foundations while taking into account the development of the legal framework in EU countries⁴.

V. Nosik emphasizes the need for a transformation of Ukrainian land law in connection with the transition to the paradigm of Sustainable Development Goals (SDGs), proposing that, in place of the Land Code, laws such as “On the Ownership of Land by the People of Ukraine”, “On Land Use in Ukraine”, and a number of others should be adopted. This is due to the fact that the norms enshrined in current land legislation do not ensure the effective functioning of land law and related legal frameworks⁵.

Legal, logical-structural, and technical-legal defects of the current land law have been noted by many scholars. For instance, A. Myroshnychenko identifies defects particularly in terms of gaps, duplication of norms, the existence of legal conflicts (deacidification), the declarative nature of norms, and the excessive detailing of behavioural models⁶⁷. The presence of legal conflicts and the over-detailed behavioural models in the fields of land management and land surveying expertise have resulted in large-scale land corruption.

At the same time, as A. M. Tretiak has noted, the necessary standards and procedures in the field of land management have still not been developed⁸.

Y.O. Shevchenko highlights the main conflicts and shortcomings in the legal regulation of land valuation, noting the lack of comprehensive regulation of land appraisal activities, where substantive law norms prevail over procedural

³ Носік В.В. Земельне право і Законодавство України: системна криза чи зміна парадигми в умовах реалізації цілей сталого розвитку в Україні до 2030 року. *Право України*. 2020. № 5. С. 76-90. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prukr_2020_5_8 (дата звернення 6.01.2025).

⁴ Мірошніченко А.М. Колізії в правовому регулюванні земельних відносин в Україні: монографія/ А.М. Мірошніченко. Алушта: КНТЦУХ, 2009. 268 с.

⁵ Сидор В.Д. Колізійність земельного законодавства України, як перепона на шляху його розвитку. *Вісник Запорізького національного університету*. № 2. 2011. С. 90–94.

⁶ Шевченко Я.О. Сучасний стан правового регулювання оцінювання земель в Україні. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Серія Юриспруденція. 2015. №14. Т.2. С. 64–66.

⁷ Шарий Г., Вергунов В., Писаренко В., Самородов В. «Життя прожити не поле перейти» До 90-річчя Героя України Семена Антонця. *Світгляд*. 2025. №4 (114). С. 31–37.

⁸ Шарий Г., Писаренко В., Писаренко П., Самородов В. / Агроекологічні висоти Семена Антонця (1935-2025): монографія. Полтава, 2025. 84 с.

law norms. He also emphasizes the dialectical relationship between the norms of agrarian law and land law⁹.

Summarizing existing research, the current land legislation requires a modern legal concept and alignment with constitutional law norms, as well as adaptation and transformation in accordance with EU standards in the area of:

- the ecological modernization of the Land Code and land legislation norms concerning land protection based on the principles of sustainable land development, the formation of an environmental-economic system, and the introduction of a system of economic sanctions and incentives in the areas of land development, land reclamation and protection, afforestation, and forest reclamation¹⁰;
- the predominance of law protecting public interests and the interests of social necessity;
- termination of gratuitous privatization, limitation of legal capacity of violators regarding the seizure of land ownership, and the establishment of a legal framework for a socially just land system;
- land valuation, for any purpose, exclusively on the basis of market valuation principles;
- introduction of indivisible inheritance, land indivisibility, and land consolidation norms;
- establishment of mandatory land cadastre and sustainable as well as crisis land management in border and frontline territories with legal consequences;
- formation of a legal framework for systematic land reclamation, land revitalization, forest reclamation, and afforestation to preserve Ukraine's land-resource potential;
- Definition of a special state policy for the development of organic farming;
- definition of special regulation of land relations and the expropriation of lands for purposes of public necessity in cases of crisis land management in border and frontline areas, with the organization of special land management for buffer zones and strips of border and frontline communities;
- development of a special administrative-territorial and spatial structure, including the settlement network of border and frontline communities.

⁹ Шарий Г., Сорочун А., Угненко Є., Шевченко А. Модернізація геодезичних методів для відновлення енергетичної інфраструктури України. *Сучасні тенденції геодезії, землеустрою та природокористування*: праці міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 19-20 червня 2025 р.). Одеса, 2025. С. 15-19.

¹⁰ Шарий Г.І., Угненко Є.Б., Сорочун А.І. Кошторис інвайроментальної економіки, як інструмент регулювання природокористування. *Сучасні технології землеустрою кадастру та управління земельними ресурсами: праці матеріали міжнародна наук.-практ. Конф.* (Київ, 13-14 березня 2025 р). Київ, 2025. С. 140-142.

The basis of land management is geomatics, and the foundation of geomatics is geodesy and the activities of the state service in the field of geodesy and cartography.

By Resolution № 227 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 24, 1991, the enterprises of the Main Administration of Geodesy and Cartography of the USSR were transferred to the State Property Fund. On November 1, 1991, by Resolution № 306 of the Cabinet of Ministers of Ukraine, the Main Department of Geodesy, Cartography, and Cadastre under the Cabinet of Ministers of Ukraine was established, consisting of a central office with 7 staff members, the State Geodetic Supervision Inspectorate with 13 staff members, and 12 enterprises.

Over time, the modern enterprises “Aerogeodesy” and “Geodesy, Cartography, and Informatics” were established.

Currently, in accordance with the decision of the United Nations General Assembly of 1947, independent geodesy and cartography services operate in 175 countries worldwide .

In Ukraine, the sharp reduction of budgetary funding beginning in 1997, despite the 1998 Law of Ukraine “On Topographic and Geodetic Activities,” further exacerbated the situation.

A major problem was created by the “secrecy” and the 1993 Agreement of Ukraine with the CIS countries, when the majority of cartographic materials were destroyed.

Eight reorganizations ultimately led to the dismantling of the geodesy and cartography service. In 2012, the State Service of Geodesy, Cartography, and Cadastre was once again liquidated and reorganized into a department within the structure of the State Land Agency, effectively bringing the activity in this area to a near halt.

Currently, in the context of war, the obsolescence of cartographic information significantly complicates the planning and conduct of military operations, as modern dual-use technologies constitute a key component of national security and defense.

The State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre does not oversee a number of areas related to the development of the geodesy service, and these problems have been significantly exacerbated under wartime conditions.

Therefore, when carrying out geodetic and land reforms, it is necessary not only to take systematic steps forward but also to step back when needed—for example, by restoring an autonomous state service of geodesy and cartography.

CONCLUSIONS

The rational adoption and implementation of EU legal norms, the restoration of historically traditional institutions in the fields of geodesy and land management, and the formation of an environmental-economic system of land economy will allow the reform of land legislation in accordance with the current realities of social land relations. This will ensure the sustainable development of land-resource potential and the establishment of stable and equitable social relations in the land sector

This necessitates the development of a modern Land Code that would capitalize land relations, establish a socially significant mechanism for the fair redistribution of lands, and ensure their rational use, protection, and safeguarding in the interests of the people of Ukraine, the state, local communities, citizens, and society at large. Such a code would preserve land for future generations under the principles of sustainable land development and regulate land development in border and frontline territories.

Mobilization efforts of the domestic scientific community are required to develop a modern, sustainable, and socially oriented Land Code, along with mandatory norms for land management, cadastre, and geodesy. This should include special legal norms for the regulation of border and frontline territories, as well as the restoration of the autonomy of the state service of geodesy and cartography.

The valuation and integration of lands into the economic circulation should be accompanied by the creation of effective economic and ecological mechanisms, incentives for organic farming, rational and sustainable land use and development, and the enhancement of Ukraine's investment attractiveness.

SUMMARY

The research examines and analyses the current state of the institutions and specific entities of land legislation, highlighting existing conflicts, dualities, and ambiguities in interpretation, the absence of many directly applicable norms, and the overregulation by subordinate acts, some of which date back to the 1970s.

It has been determined that a large portion of land legal institutions do not entail legal consequences and are characterized as liberal, allowing legal entities, landowners, and land users to act in ways that contradict public interests, undermining Ukraine's ecological, food, economic security, and military resilience.

It has been demonstrated that numerous and often contradictory subordinate acts in the sphere of land relations, cadastre, and geodesy, as well as the absence of effective mandatory norms for the land cadastre and land management, lead

to a shadow economic circulation of land and economic underground activities, misuse of land, depletion of natural soil fertility, undervaluation of land for taxation purposes, and irrational and inefficient use of Ukraine's natural-resource land potential.

These land-related problems require the reformation of land policy in Ukraine and the development of a modern Land Code, the implementation of special and crisis land management in border and frontline territories, and the strengthening of social justice in the land sector.

Bibliography

1. Корольова В.В., Кисляк Є.В. Україна та її розвиток в умовах Євроінтеграції. *Правничий вісник університету «Крок»*. 2020. № 38. С. 125–132. URL: <https://dspace.Krok.edu.ua/handle/Krok/2843> (дата звернення 15.01.2025).

2. Коваленко Т.О. Юридичні дефекти земельно-правових норм: підходи до класифікації. *Вісник Академії адвокатури України*. 2011. № 2. с.237–240: URL: http://hbuv.gov.ua/UJRN/vaau_2011_2_44 (дата звернення 10.01.2025).

3. Носік В.В. Земельне право і Законодавство України: системна криза чи зміна парадигми в умовах реалізації цілей сталого розвитку в Україні до 2030 року. *Право України*. 2020. № 5. С. 76-90. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prukr_2020_5_8 (дата звернення 6.01.2025).

4. Мірошніченко А.М. Колізії в правовому регулюванні земельних відносин в Україні: монографія/ А.М. Мірошніченко. Алупшта: КНТЦУХ, 2009. 268 с.

5. Сидор В.Д. Колізійність земельного законодавства України, як перепона на шляху його розвитку. *Вісник Запорізького національного університету*. № 2. 2011. С. 90–94.

6. Шевченко Я.О. Сучасний стан правового регулювання оцінювання земель в Україні. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. Серія Юриспруденція. 2015. №14. Т.2. С. 64–66.

7. Шарій Г., Вергунов В., Писаренко В., Самородов В. «Життя прожити не поле перейти» До 90-річчя Героя України Семена Антонця. *Світогляд*. 2025. №4 (114). С. 31–37.

8. Шарій Г., Писаренко В., Писаренко П., Самородов В. Агроекологічні висоти Семена Антонця (1935-2025): монографія. Полтава, 2025. 84 с.

9. Шарій Г., Сорочун А., Угненко Є., Шевченко А. Модернізація геодезичних методів для відновлення енергетичної інфраструктури України. *Сучасні тенденції геодезії, землеустрою та природокористування: праці міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 19-20 червня 2025 р.)*. Одеса, 2025. С. 15-19.

10. Шарий Г.І., Угненко Є.Б., Сорочун А.І. Кошторис інвайроментальної економіки, як інструмент регулювання природокористування. *Сучасні технології землеустрою кадастру та управління земельними ресурсами: праці матеріали міжнародна наук.-практ. Конф.* (Київ, 13-14 березня 2025 р). Київ, 2025. С. 140-142.

Information about the authors:

Sharyi Ggrigoriy Ivanovych,

Doctor of Economic Sciences,
Professor at the Department of Highways,
Geodesy and Land Management,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
24, Vitaliia Hrytsaienka ave., Poltava, 36011, Ukraine

Kariuk Alla Mykolaivna,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Highways,
Geodesy and Land Management,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
24, Vitaliia Hrytsaienka ave., Poltava, 36011, Ukraine

Mishchenko Roman Anatoliiovych,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Highways,
Geodesy and Land Management,
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
24, Vitaliia Hrytsaienka ave., Poltava, 36011, Ukraine

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

Izdevniecība “Baltija Publishing”
Avotu iela 8 k-1 - 25, Rīga, LV-1011
E-mail: office@baltijapublishing.lv

Iespiests tipogrāfijā SIA “Izdevniecība “Baltija Publishing”
Parakstīts iespiešanai: 2026. gada 27. marts
Tirāža 300 eks.