



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A. Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 73)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №33
Part 2
September 2025

Published by:
SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergiy, *PhD in Technical Sciences*

Editorial board: More than 400 doctors of science. Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert-Peer Review Board of the journal: Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: 6 times a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.

DOI: 10.30888/2663-5712.2025-33-02

Published by:
SWorld &
D.A. Tsenov Academy of Economics
Svishtov, Bulgaria
e-mail: editor@sworldjournal.com



УДК 72.02:7.012

ARCHITECTURAL GRAPHICS AND COLOR: INTERACTION IN THE VISUALIZATION OF IDEAS

АРХІТЕКТУРНА ГРАФІКА І КОЛІР: ВЗАЄМОДІЯ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІДЕЙ

Sobko Y.T. / Собко Ю.Т.

ORCID: 0009-0006-5982-329X

*Assistant at the Department of Urban Planning and Architectural Design/
Асистент кафедри містобудування та архітектурного проектування
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,*

*вул. Рівненська, 16, 58000***Ovsiienko O.V. / Овсієнко О.В.**

ORCID: 0009-0008-8179-2885

*Assistant at the Department of Urban Planning and Architectural Design/
Асистент кафедри містобудування та архітектурного проектування
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*

*вул. Рівненська, 16, 58000***Riezanova K.A. / Резанова К.А.**

ORCID: 0009-0002-8113-2701

*Assistant at the Department of Urban Planning and Architectural Design/
Асистент кафедри містобудування та архітектурного проектування
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,*

*16 Rivnenska St., 58000**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича**вул. Рівненська, 16, 58000*

Анотація. У статті розглядається роль архітектурної графіки та кольору як взаємодоповнюючих засобів у процесі візуалізації архітектурних ідей. Аналізується вплив кольору на сприйняття форми, простору та емоційний настрій проекту. Підкреслюється значення графічної мови як інструменту комунікації між архітектором і суспільством. Розглянуто приклади використання колористики в ескізах, фасадах і візуалізаціях, що формують емоційну та естетичну привабливість архітектури.

Ключові слова: архітектурна графіка, колір, візуалізація, фасад, проектування, презентація, композиція.

Вступ

Архітектура — це не лише просторове мистецтво, а й форма візуального мислення. Від ескізу до фотореалістичної візуалізації — графічні засоби залишаються основним інструментом, за допомогою якого архітектор формулює, осмислює та передає свої ідеї. Одним із найважливіших чинників в архітектурній графіці є колір — не лише як декоративний елемент, а як змістовне навантаження, що формує атмосферу, емоцію та архітектурний образ. Метою цієї статті є дослідити взаємодію архітектурної графіки та кольору у візуалізації архітектурних рішень, показати, як завдяки гармонійній співпраці цих засобів



народжується виразна архітектурна мова, яка здатна не лише інформувати, а й надихати.

Графіка — це перша мова архітектора. Вона служить не лише для передачі функціонального і конструктивного задуму, а й для комунікації настрою, характеру, атмосфери. В ескізах і концептуальних малюнках архітектор передає дух майбутньої будівлі, її ритм, динаміку, масу, зв'язок із навколишнім середовищем.

Архітектурна графіка є унікальним засобом візуального мислення, який об'єднує творчість, техніку та комунікацію. У сучасному проектуванні вона відіграє ключову роль у трансляції архітектурної ідеї — від первинного ескізу до фотореалістичної візуалізації. Її функція полягає не лише у фіксації форми, пропорцій, простору чи конструкції, але й у передачі наративу архітектури — її логіки, поетики, контексту і впливу.

Архітектурне мислення часто формується не словами, а саме графікою. Малюнок для архітектора — це засіб не просто комунікації, а пошуку ідеї, метод самовираження й одночасно інструмент аналізу. Через штрих, лінію, пляму, контур — архітектор досліджує об'єм, світлотінь, структуру, взаємозв'язки елементів. Цей процес не є репродуктивним, як у технічному кресленні, а еволюційним, тобто думка розвивається разом із графікою. Ескіз як перша стадія це не просто зображення, а концентрація задуму, інтуїтивне уявлення про характер будівлі, її силует, динаміку, взаємодію з простором. Часто саме в ескізі міститься енергетичний імпульс, який визначає усе подальше проектування/

Архітектурна графіка має багато форматів, кожен із яких несе своє семантичне і функціональне навантаження. Концептуальні ескізи — фіксують перші візії, емоції, абстрактні ідеї; найчастіше виконуються вручну, нерідко монохромно або з інтуїтивною кольоровою плямою. Аналітичні діаграми — розкривають логіку проекту, функціональні взаємозв'язки, сценарії користування, генезу ідеї. Креслення (плани, фасади, розрізи) — візуалізують формально-конструктивну суть об'єкта; є технічним виразом концепту. Аксонометрії та ізометрії — поєднують просторовість і аналітику, даючи



уявлення про об'ємність без втрати геометричної чіткості. Цифрові візуалізації демонструють матеріальність, освітлення, кольорову палітру і атмосферу; є комунікаційним інструментом для громадськості та замовника. Тому архітектурна графіка формує багаторівневу мову, у якій кожен тип графічного зображення відповідає певному етапу та меті проектування.

Графічна подача креслень являється універсальною мовою між архітектором, інженером, замовником, громадою. Вона дозволяє донести ідею незалежно від мовного чи культурного контексту. Схеми, ескізи та візуалізації стають мостами між уявним і реальним, професійним і громадським баченням простору. Особливо важливо це у процесах: громадського обговорення проєктів, де графіка має бути доступною й інтуїтивно зрозумілою, міждисциплінарної взаємодії, наприклад, між архітекторами й інженерами, ландшафтниками, дизайнерами, освітнього середовища, де графіка є ключовим засобом навчання архітектурного мислення. Таким чином, графіка в архітектурі виконує не лише функцію передачі, а й трансформації ідеї у спільне бачення.

У найвищому прояві архітектурна графіка — це поетика простору, де візуальні засоби стають метафорами. Через тінь, прозорість, фрагментарність, текстуру, світло — архітектор створює не просто форму, а настрій, передчуття присутності в об'єкті. Особливо це проявляється в концептуальних презентаціях, де: фактура паперу або фон стає частиною ідеї; відсутність кольору не зменшує виразність, а підсилює акценти; стирання, розмиття, неповнота — можуть вказувати на відкритість до інтерпретацій. Цей рівень графіки — не технічний, а художньо-філософський, і він має потужну силу в комунікації ідей у культурному або академічному контексті.

Цифрові інструменти змінили архітектурну графіку, зробивши її більш точною, динамічною, інтерактивною. Проте, вони не знищили значення ручної подачі, а скоріше розширили палітру виразності. Сьогодні графіка в архітектурі може бути: анімованою (відеопрезентації, walkthrough), інтерактивною (віртуальна реальність, AR, VR), гібридною (поєднання ескізу з рендером, колажу з планом).



Це дозволяє краще адаптувати графіку до потреб сприймача: від експертного середовища до ширшої аудиторії, створюючи нові формати діалогу. Колір в архітектурній візуалізації — це не просто естетичне рішення. Це засіб керування емоційною реакцією глядача, формування просторових акцентів, виділення об'єктів, створення ілюзії масштабу, глибини, матеріальності.

У фасадному проектуванні колір допомагає гармонізувати архітектурний об'єкт із середовищем або, навпаки, виділити його. У кресленнях колір може мати функціональне навантаження — наприклад, виділення зонування, конструктивних елементів, сценаріїв руху. Візуалізації, які використовують продуману колористику, можуть викликати довіру, зацікавлення, естетичне задоволення, тоді як невдалий підбір кольору здатен спотворити суть навіть найдосконалішого проекту.

У сучасному архітектурному процесі візуалізація ідеї — це не просто етап оформлення, а ключовий інструмент комунікації, який визначає сприйняття проекту на всіх рівнях: від професійної експертизи до суспільного обговорення. Архітектурна графіка у поєднанні з грамотно підбраною колористикою формує не лише естетичну подачу, але і змістовну структуру проекту. Саме через їхню взаємодію архітектор доносить логіку, емоцію, контекст і атмосферу задуманого простору.

Архітектурне креслення — це набір візуальних кодів, які організовують подачу інформації. Вона охоплює: планувальні схеми, фасади, розрізи, діаграми функціонального зонування, сценарії руху, технічні аксонометрії. Кожен із цих елементів формує логічну ієрархію, у якій глядач послідовно «зчитує» проект. У свою чергу, колір виконує функцію акцента, виділяючи головне, пов'язуючи частини в єдину систему або, навпаки, розділяючи за типами, функціями, фазами розвитку.

Колір у презентації виконує не лише декоративну, а й когнітивну роль. Дослідження у сфері візуального сприйняття доводять, що: теплі кольори (жовтий, помаранчевий, червоний) підкреслюють активні зони, викликають емоційний резонанс, сигналізують про ключові точки взаємодії; холодні тони



(синій, бірюзовий, фіолетовий) заспокоюють, підтримують фонову інформацію, акцентують глибину і стабільність; нейтральні відтінки (сіра шкала, беж, охра) допомагають балансувати композицію, не перевантажуючи сприйняття.

Таким чином, колір у проектній графіці стає мовою інтерпретації, через яку передаються не лише функції, але й емоції, ритми, настрої майбутнього простору

Ефективна архітектурна презентація повинна бути візуально цілісною. Це означає: єдину палітру кольорів у всіх елементах (ескізи, фасади, інтер'єри, діаграми), повторювані графічні прийоми (лінії, тіні, підписи), гармонійне поєднання інфографіки з образними візуалізаціями. Такий підхід забезпечує високу навігаційну якість презентації, тобто дозволяє глядачеві легко орієнтуватися в логіці проекту. Колір у цьому випадку є не лише підтримкою, а активним дизайнерським засобом.

Різні типи архітектурної графіки потребують різних підходів до кольору. Концептуальні ескізи — допускають експресивне, навіть інтуїтивне використання кольору, що передає характер, настрій, ідеологію задуму. Технічна графіка — потребує строгої палітри, де колір має значення функціональної приналежності (наприклад, червоним — елементи демонтажу, зеленим — озеленення, синім — нове будівництво). 3D-візуалізації — потребують натуралістичної колористики, яка імітує фактуру, освітлення, матеріали. Інфографіка — базується на інфовиділенні: за допомогою кольору розрізняються блоки, акценти, часові фази, типи користувачів тощо.

Фасади — одна з найяскравіших площин для демонстрації ролі кольору. В їх подачі використовуються: тональні контрасти — для акценту на елементах (вікна, вхідні групи, ритміка вертикалей/горизонталей); монохромна подача з кольоровими вставками — для делікатного підкреслення композиції; зворотна контрастність — коли фонові площини кольорові, а деталі — світлі або білі, що створює динаміку. Ці прийоми допомагають не лише подати естетичний образ, а й вплинути на розуміння масштабу, структури, ритму об'єкта. Презентація проекту — це також процес переконання: клієнта, журі, громади. І саме колір часто стає вирішальним елементом у створенні емоційної довіри до проекту.



Атмосфера, що її передає палітра кольорів, може викликати: відчуття надійності (через теплі натуральні тони), почуття технологічності й сучасності (через контрастні чорно-білі рішення з металевими акцентами), емоційну привабливість і натхнення (через художні композиції із багатою палітрою).

Вивчення сучасної архітектурної практики демонструє, що архітектурна графіка та колористика не є вторинними засобами візуалізації, а, навпаки, виступають головними носіями ідеї, емоції та концептуального наративу. Відомі архітектурні бюро — такі як BIG (Bjarke Ingels Group), SANAA, MVRDV, Herzog & de Meuron, OMA, Sou Fujimoto, — активно використовують графіку як інструмент, що одночасно організовує мислення й артикулює архітектурну ідею через форму, колір, схему та композицію.

BIG — архітектура як графічна історія. Бюро BIG послідовно демонструє майстерність створення візуального наративу. Їхні діаграми, створені в характерному мінімалістичному стилі з яскравими акцентами, стали фактично впізнаваним брендом. Візуальна мова проектів базується на простоті графіки та кольору, що дозволяє донести складні ідеї простими візуальними кодами — наприклад, трансформації форми будівлі через серію кольорових послідовностей, де жовтий — акцент на доступності, зелений — екологічність, червоний — соціальна взаємодія.

У проекті 8 House (Копенгаген), послідовність графіків показує, як архітектурна форма зростає із внутрішньої логіки — плавні діаграми кольором ілюструють рух, функцію, напрямок. Така подача не тільки переконує клієнта, але й формує інтуїтивне розуміння задуму навіть у непрофесійної аудиторії

SANAA — прозорість, легкість і делікатна колористика. Японське бюро SANAA (Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa) використовує надзвичайно делікатну графіку, в якій колір не є домінантою, але стає засобом нюансування. У їхніх ескізах і презентаціях превалюють напівпрозорі, акварельні плями, які передають відчуття повітряності, гнучкості простору. Графіка часто працює не як технічна фіксація, а як поетична репрезентація концепції. Наприклад, у проекті Louvre - Lens Museum м'які сірі, блакитні, світло-зелені відтінки у графічних



подачах підсилюють ідею «невидимості» архітектури — інтеграції в ландшафт, злиття з небом. Такий підхід засвідчує, що колір у графіці може бути не лише сигналом, але й медитацією — способом передати настрій, ритм і духовність простору.

MVRDV — кольорове мислення як архітектурна стратегія. Голландське бюро MVRDV прославилася використанням відверто яскравої колористики як архітектурної стратегії. У їхніх проектах — як і в графіці — колір виступає не доповненням, а сутністю концепції. Вони створюють цілісні кольорові карти проектів: функції, висотності, сценарії використання — усе розписане кольором. Проект The Stack або Valley демонструє, як кольорові масиви на етапі діаграм і фасадів допомагають структурувати складні об'єкти у свідомості глядача. Це стратегія, у якій колір стає ключем до читання просторової логіки.

Студентські проекти це про експерименти, поетику, пошук мови. У студентських роботах колір часто виступає як пошуковий інструмент — візуальна метафора, що фіксує не лише функціональність, а й емоцію, авторське бачення, ідентичність. Тут з'являється сміливість використовувати: контрастні палітри (наприклад, поєднання чорного з неоном для вираження протесту чи урбаністичного драйву), насичені метафоричні кольори (синій — відкритість, глибина; жовтий — енергія, сонце; червоний — тривога або дієвість), гібридну графіку (від сканованих ручних ескізів до цифрових колажів із вкрапленням реальних матеріалів).

Отже, студентські подачі — це поле для розвитку персональної графічної мови, де колір — не лише візуальний акцент, а й носій ідеї, критики, позиції.

Концептуальні ескізи поєднують думку і колір. Концептуальні ескізи є особливою формою архітектурної графіки, де колір виходить за межі реалізму і набуває символічного значення. У практиці можна зустріти такі прийоми: блакитний як символ відкритості, ефіру, свободи простору; червоний — тривога, пульсація, імпульс дії; зелений — відновлення, зростання, стійкість; жовтий — тепла енергія, сонце, майбутнє. Ці кольори, нанесені інтуїтивно — штрихом, прямою, розмивом, — дозволяють захопити суть проекту швидше, ніж



формальна модель. Такі зображення працюють із підсвідомістю глядача, впливаючи на емоційне сприйняття ще до того, як починається логічний аналіз.

Висновки.

У прикладах з практики ми бачимо, що графіка і колір у сучасній архітектурі — це не просто засоби візуалізації, а повноцінна мова проекту, здатна переконувати, надихати, структурувати й передавати складні ідеї. Їх застосування не є уніфікованим — кожна майстерня, кожен архітектор або студент формує свій візуальний акцент, свою інтонацію подачі.

Це вимагає розвитку графічної культури в освіті, а також свідомої уваги до колористичних рішень у професійній практиці. Адже якість архітектурної подачі — це не лише про «красу картинки», а про якість мислення, глибину ідеї і здатність бути зрозумілим для інших. У світі, де архітектура дедалі більше перетворюється на публічний дискурс, мова графіки й кольору — одна з найефективніших форм участі в ньому.

Література:

1. BIG – Bjarke Ingels Group. *Yes Is More: An Archicomic on Architectural Evolution*. — Köln: Taschen, 2010.
2. Білик Н. С. *Кольорографія в архітектурі*. — Львів: Львівська політехніка, 2017.
3. Ching, F. D. K. *Design Drawing*. — New Jersey: John Wiley & Sons, 2019.
4. Herzog & de Meuron. *Complete Works Vol. 1: 1978–1988*. — Basel: Birkhäuser, 2009.
5. Holl, S., Pallasmaa, J., Pérez-Gómez, A. *Questions of Perception: Phenomenology of Architecture*. — San Francisco: William Stout Publishers, 2006.
6. Klotz, H. *The History of Architectural Drawing*. — London: Academy Editions, 1986.
7. Krier, L. *Drawing for Architecture*. — Cambridge: MIT Press, 2009.
8. Любарова Н. В. *Колір у просторі архітектури: психологія і практика*. — Харків: ХНАМГ, 2021.



9. Mahnke, F. H. *Color, Environment and Human Response*. — New York: Wiley, 1996.
10. Pallasmaa, J. *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. — Chichester: Wiley, 2012.
11. SANAA. *Sejima and Nishizawa: SANAA Works 1995–2003*. — Tokyo: Toto Publishing, 2004.
12. Сорока Л. М. *Архітектурна композиція і візуальна подача проекту*. — Київ: НАОМА, 2022.
13. Українська академія архітектури. *Вісник №3: Сучасна графіка в архітектурі*. — Київ, 2023.
14. Чепелик В. В. *Архітектурна графіка: функція, зміст, образ*. — Київ: Ліра-К, 2019.
15. Zumthor, P. *Thinking Architecture*. — Basel: Birkhäuser, 2010.

Abstract. The article explores the role of architectural graphics and color as complementary tools in the visualization of architectural ideas. It emphasizes the significance of graphical language as a medium of communication between architects and society, while highlighting the impact of color on the perception of form, space, and emotional atmosphere. Various formats of architectural graphics—such as sketches, diagrams, facades, and digital visualizations—are examined as carriers of meaning, narrative, and aesthetics. Particular attention is given to the role of color in structuring information, creating emotional resonance, and shaping the communicative potential of architectural presentations. Through analysis of professional practices and student projects, the study demonstrates how the synergy of graphics and color forms a visual language capable of inspiring, convincing, and engaging diverse audiences. The conclusions underline the necessity of developing graphic culture in architectural education and fostering conscious approaches to color in professional practice, as the quality of architectural visualization directly reflects the depth of design thinking and the ability to communicate ideas effectively.

Keywords: architectural graphics, color, visualization, facade, design, presentation, composition.

*Стаття підготовлена в рамках Програм «Архітектурна графіка» та
«Колористика»*

Статтю надіслано: 28.08.2025 р.

© Собко Ю.Т



УДК 621.791.11:693

THE INFLUENCE THE MAGNITUDE OF STRENSSES IN THE METAL STRUKTURE AND OPERATING CONDITIONS ON THE CRACK RESISTENCE AND DUREBILITY OF MATERIALS OF BUSLDSNG STRUCTURES AND BUILDINGS

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ НАПРУЖЕНЬ, СТРУКТУРИ МЕТАЛІВ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ТРІЩИНІСТІЙКІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД

Makarenko Valeriy / Макаренко Валерій Дмитрович

професор, д-р техн. наук, професор

Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА)

ORCID :0000-0001-9178-9657

Savenko Volodymyr / Савенко Володимир Іванович

д-р техн. наук, (ФРН) професор

Національного університету будівництва і архітектури (КНУБА),

академік Академії будівництва України (АБУ),

ORCID:0000-0002-1490-6730;

Makarenko Yulija / Макаренко Юлія Валерійовна

магістерка університету "Манітобо" (Канада),

ORCID:0000-0001-9113-4288 ,

Gots Volodymyr / Гоц Володимир Іванович

д-р техн. наук, професор КНУБА, академік АБУ

ORCID:0000-0001-7702-1609;

Tereshchuk Mykola / Терещук Микола Олександрович

доктор філософії, доктор будівництва Академії будівництва України (АБУ)

докторант КНУБА, академік АБУ

ORCID : 0000-0002-4444-3677

Анотація. Руйнування сталей в значній мірі відбуваються під впливом напружень, виду і стану матеріалу конструкції, навантажень, які характеризуються знаком, величиною, жорсткістю схеми, особливо в зоні зварювальних з'єднань стиків, концентрацією, циклічністю напружень, запасом і концентрацією пружної потенційної енергії. Більша частина зварних конструкцій, зазнавши впливу корозійно активних середовищ, представляє собою конструкції оболонкового типу (реактори, ємності, балони, трубопроводи, корпусні конструкції, станки, мости, рейкові шляхи, тощо) з характерним довівним напруженням станом, тому вплив факторів напруженості і виду навантажень вивчався стосовно до цього стану на матеріалах, які мають різну міцність, пластичність, ступінь зміцнення чутливості до концентрації напружень в середовищах, які спричиняють корозійне розтріскування.

Для оцінки експлуатаційно-корозійної міцності проводяться порівняльні випробування зварних з'єднань і основного металу в ненапруженому і напруженому станах. Методи випробувань для оцінки стійкості можна класифікувати по наступних ознаках: 1) по цільовому призначенню; 2) по типу застосованого для випробувань об'єкту; 3) по виду напруженого стану; 4) по типах дослідних середовищ; 5) по показнику стійкості в залежності від виду корозійного руйнування.

Аналіз літературних джерел вітчизняних і зарубіжних вчених показав, а також практичні дані свідчать, що отримані дані в значній більшості мають протиріччя невизначеність, відсутні кількісно обгрунтовані рекомендації щодо практичних застосувань



з підвищення корозійно-механічної стійкості будівельних конструкцій, трубопровідних конструкцій та різного призначення устаткування та пристроїв, працюючих в нафтогазовій галузі, будівництві, машинобудуванні та ін., а тому з'явилися вимоги до вивчення причин наслідків неякісного захисту самих конструкцій, труб і зварювальних з'єднань, що вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень. Аналіз досліджень, викладених в літературних джерелах, показує, що в теперішній час актуальним є дослідження таких питань, як впливу концентраторів напружень зварювальних з'єднань на розвиток корозійних тріщин, які приводять до руйнувань спеціальних сталей, виготовлених з удосконалених шляхом економного модифікування сталей, зокрема ванадієм, ніобієм, РЗМ та ін. елементами. Крім того, результати досліджень, які наведені у вітчизняних і зарубіжних журналах відрізняються протиріччям, так як проводилися на різних сталях з використанням різних методик і критеріїв оцінки, що ускладнюють порівняння результатів експериментів, а тому не надає однозначної оцінки стосовно спротиву сталей в залежності від навантаження, напружень дефектів структури та ін. Це спричиняє необхідність проведення системних комплексних експериментальних досліджень, що може допомогти в розробці шляхів подовження експлуатаційного ресурсу металевих конструкцій, трубопроводів, оболонок тощо. Крім того очевидна недостатність підтримки державою вчених і науково-дослідних програм та організацій у проведенні фундаментальних досліджень що не сприяє розвитку науки.

Ключові слова: спеціальні сталі, концентратори напружень, стійкість будівельних конструкцій, корпусні конструкції, корозійно активні середовища, корозійне розтріскування.

Вступ

Питання довговічності і надійності будівельних конструкцій та споруд, критичної інфраструктури, машин і механізмів за умови зношеності та впливу критичних навантажень потребує ретельного дослідження, вивчення та постійного моніторингу в силу життєво важливої необхідності, безпеки життя людей і всього суспільства.

Основний текст

Дослідженнями по впливу величини напружень виявленню компонента напружень, визначаючого розтріскування і траєкторію тріщини встановлено, що корозійні тріщини, спричинені розтягувальними компонентами напружень, незалежно від методу навантаження. Для усіх металів термін до розтріскування невідмінно зменшується по мірі росту напружень. Збільшення напружень сприяє послабленню і порушенню захисних плівок, спричиняє концентрацію пружно-пластичних деформацій в мікротріщинах у вершині розвинутої тріщини і інтенсифікує протікання механічних напружень і пов'язаних з концентрацією деформації, корозійних і сорбційних процесів. Інтенсифікація усіх сполучених процесів при збільшенні напружень приводить в підсумку до прискорення корозійного розтріскування. Разом з тим, на кривих корозійного розтріскування



$\sigma - \ell$ у більшості випадків виявляється границя мінімальних напружень $\sigma_{ГР}$, нижче яких розтріскування не наступає на протязі тривалого терміну чи не відбувається взагалі. Величина граничних напружень залежить від конкретних умов, властивостей матеріалу, напруженого стану, корозійного середовища. Границя мінімальних напружень помічається при навантаженні як ззовні, так і залишковими зварювальними напруженнями.

Результати експериментальних досліджень викладені на мал.1,3, звідки видно, що орієнтовні значення $\sigma_{ГР}$ для зварних з'єднань на сталі ВСт3сп в середовищі NACE складають $\approx \sigma_T$, а із сталі 18ХН9Ф відповідно $0.4\sigma_T$, а сталі 08ХМЧА - $\approx 0.5\sigma_T$, для сталей Ст20А, 40ХН і 06Г2БА відповідно $0.5\sigma_T$, $0.6\sigma_T$, $0.8\sigma_T$. Відсутність розтріскування при значеннях напружень менших граничних можна пояснити недостатньою концентрацією напружень і малим запасом потенційної енергії необхідних для виникнення і розвитку корозійної тріщини (див. рис..1,2).

При наявності не знятого поля залишкових зварювальних напружень при зміні зовнішнього навантаження границя напружень не наступає, так як при малих значеннях напружень від зовнішнього навантаження руйнування обумовлено залишковими зварювальними напруженнями (див. рис.2). Порівняння кривих корозійного розтріскування зварюваних з'єднань і основного металу показує, що стійкість зварювальних з'єднань, в силу розглянутих раніше причин, як правило, нижче, чим у основного металу.

Таким чином, з рис.1,2 виходить, що розтріскування проходить інтенсивніше при постійному навантаженні в порівнянні з постійною загальною деформацією (зразки сталі Х18Н9Ф – при одновісному розтягуванні). Зміни в металі, спричинені зварюванням, наявність залишкових напружень, жорстка схема напружень суттєво прискорюють розтріскування. Величина граничних напружень в залежності від цих факторів змінюється в меншій мірі.

Результати експериментальних досліджень викладені в роботі показують, що орієнтовні значення $\sigma_{ГР}$ для зварних з'єднань на сталі ВСт3сп в середовищі NACE складають $\approx \sigma_T$, а із сталі 18ХН9Ф відповідно $0.4\sigma_T$, а сталі 08ХМЧА - $\approx$



$0.5\sigma_T$, для сталей Ст20А, 40ХН і 06Г2БА відповідно $0.5\sigma_T$, $0.6\sigma_T$, $0.8\sigma_T$. Відсутність розтріскування при значеннях напружень менших граничних можна пояснити недостатньою концентрацією напружень і малим запасом потенційної енергії, необхідних для виникнення і розвитку корозійної тріщини.

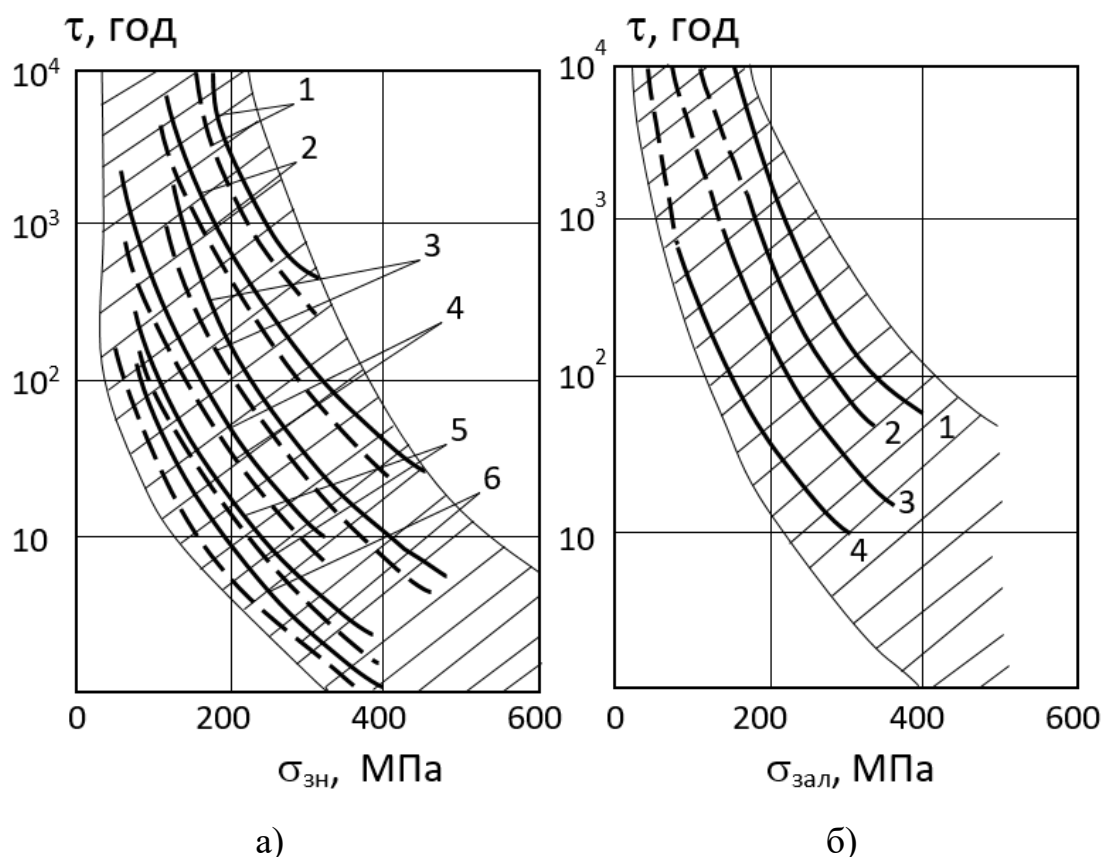


Рис.1 - Вплив величини напруження і виду напруженого стану на корозійне розтріскування в різних середовищах (а).

Позначення: суцільні лінії – зварювальні з'єднання, штрихові - основний метал;

$\sigma_{ЗН} > 0$; $\sigma_{Зал} = 0$. Сталі: 1 – Х18Н9Ф; 2 – ХМЧА; 3 – 06Г2БА; 4 – 40ХН;

5 – Ст20А; 6 – ВСт3сп; 1, 2, 4 – одновісний згин; 3, 5, 6 – одновісне

розтягування; (б) вплив величини напруження і виду напруженого стану на

корозійне розтріскування в різних середовищах. Позначення: суцільні лінії – основний метал; $\sigma_{ЗН} > 0$; $\sigma_{Зал} > 0$. Сталі: 1 – Х18Н9Ф; 2 – ХМЧА; 3 – 06Г2БА;

4 – 40ХН; 1, 2, 3, 4 – одновісне розтягування.

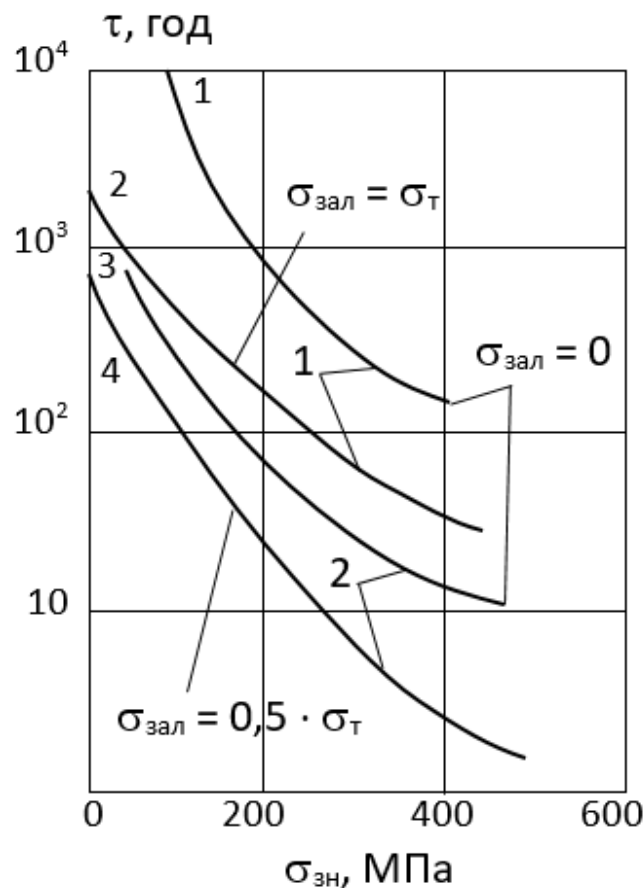


Рис.2 - Вплив величини напруження і виду напруженого стану на корозійне розтріскування в різних середовищах.

Позначення: суцільні лінії – зварювальні з'єднання, штрихові - основний метал;

$\sigma_{zh} = 0$; $\sigma_{zal} > 0$. Сталі: 1 – X18H9Ф; 2 – ХМЧА; 3 – 06Г2БА; 4 – 40ХН;

5 – Ст20А; 6 – ВСт3сп; 1,2 – одновісний згин; 3, 4 – одновісне розтягування.

Руйнуванням від втомленості відбувається під дією повторного або циклічного навантаження. За сучасними уявленнями руйнування металів і полімерів від втомленості зумовлене мікронеоднорідністю структури. Як наслідок, виникає локальна концентрація напружень, що створює місце зародження руйнування від втомленості. Етапи зародження та поширення тріщини від втомленості розділити часто неможливо, а тому існує кілька моделей руйнування (рис.3). На рис.3. видно дві зони: А – утворена внаслідок поступового розвитку тріщини; В – великозерниста, по якій проходить миттєвий злам після ослаблення робочого перерізу тріщинами від втомленості. У крихких матеріалах – це зона великокристалічної будови, для в'язких матеріалів – це зона в'язкого



руйнування (волокниста структура).

Неоднорідність конструкційних матеріалів практично є неминучою через особливості металургійного та технологічного оброблення. Це призводить до утворення тріщин і численних дефектів. Останні повільно наростаючи у процесі експлуатації, зумовлюють руйнування. На рис. 3 показано відповідний приклад. Цей процес інколи пов'язують з напруженням пластичної течії або з межею міцності матеріалу при розтягу. У загальному випадку руйнування дисків спричинено руйнівним напруженням матеріалу та пояснюється різними теоріями.[3-5] Подальші належні дослідження допоможуть зблизити відповідні існуючі уявлення про конструкційну міцність матеріалу.

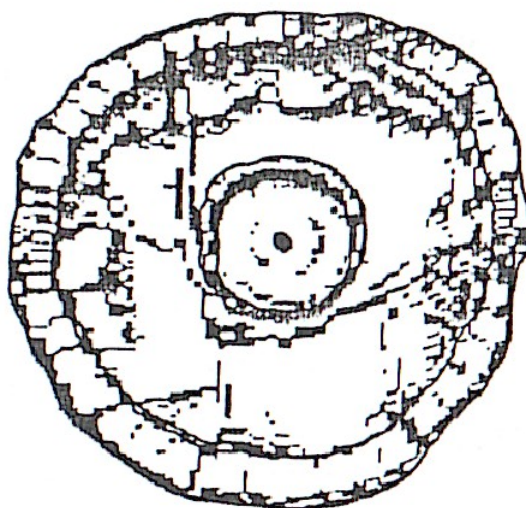


Рис. 3 - Характер руйнування дисків зі сплаву ЕИ437Б за високих температур

Відомо, що для роботи конструкції з армованого матеріалу (наприклад, розтяжної пластинки з отвором) характерне те, що концентрація напружень накладається на неоднорідний напружений стан структури матеріалу, а малі дотичні напруження у зв'язувальному стані інколи стають небезпечнішими, ніж максимальні напруження по контуру. Згідно з розрахунками заштрихована частина армованої пластинки (рис. 4 а) ослаблена коловим отвором, а залишкова – перебуває в однорідному напруженому стані. Характер руйнування пластинки ілюструє дослід. (рис 3,4)

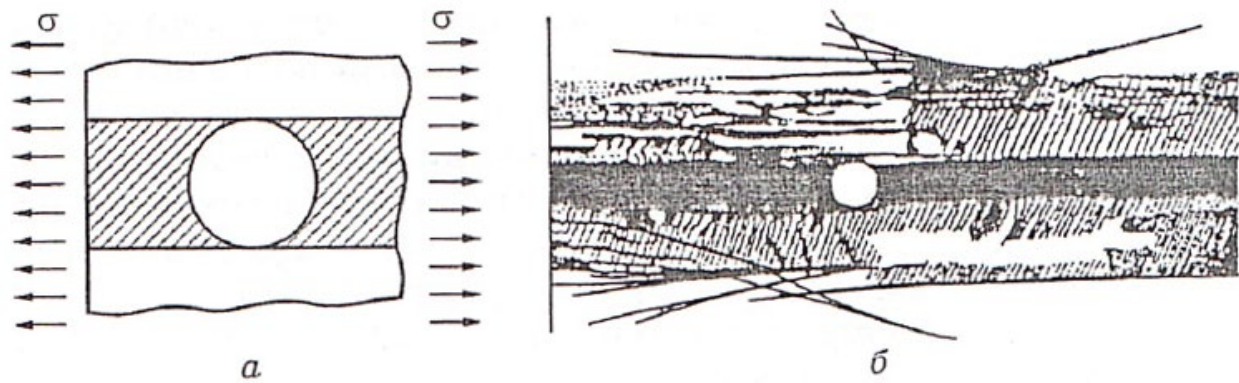


Рис. 4 - Характер руйнування армованої пластинки:

***а** – структура, ослаблена отвором з концентрацією напружень σ ;*

***б** – характер руйнування пластинки.*

Механічні властивості твердого тіла залежать від будови кожного зерна в полікристалічному агрегатному стані, а також від структури і властивостей міжкристалічної речовини. Для вивчення механічних властивостей твердих тіл важливо мати уявлення про структуру матеріалу та її зміну в різних термомеханічних умовах (під час кування, прокату та ін.), подрібнення зерен, утворення, наприклад, волокнистої структури (рис. 5, *а* – лита структура; *б* – волокниста), що приводить до анізотропії властивостей матеріалу.

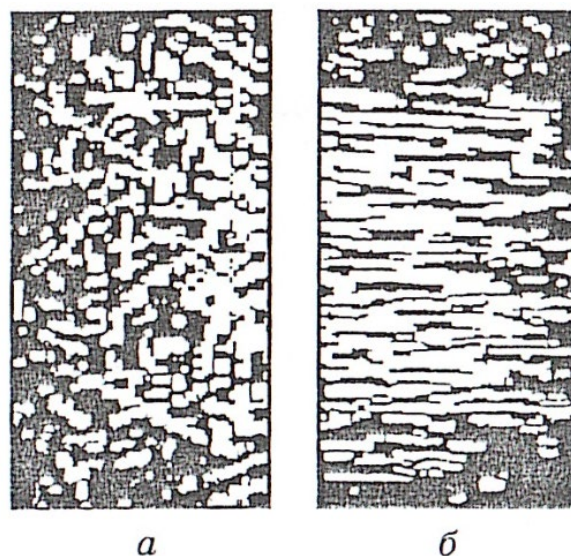


Рис. 5 - Утворення волокнистої структури у процесі подрібнення зерен у різних термомеханічних умовах: *а* – лита структура; *б* – волокниста структура.



Отже, причиною руйнування елементів будівельних конструкцій, у більшості випадків, є фізичні та хімічні чинники. Сучасне обладнання та новітні технології досліджень дозволяють визначити й додаткові фактори, які спричиняють руйнацію будівельних матеріалів та конструкцій. Українські вчені-дослідники вносять значний вклад у розвиток світової інженерної науки, їх праці визнані міжнародною науковою спільнотою.

Висновки та пропозиції

1. Терміни до появи тріщин і руйнування металів скорочується зі збільшенням навантажень, інтенсифікуються корозійні та сорбційні процеси, які також залежать від неоднорідності металів та концентраторів напруження. Корозійні тріщини, спричинені розтягувальними компонентами напружень, незалежать від методу навантаження. Для усіх металів термін до розтріскування невпинно зменшується по мірі росту напружень. Збільшення напружень сприяє послабленню і порушенню захисних плівок, спричиняє концентрацію пружно-пластичних деформацій в мікротріщинах і у вершині розвинутої тріщини і інтенсифікує протікання механічних і пов'язаних з концентрацією деформації, корозійних і сорбційних процесів. Інтенсифікація усіх сполучених процесів при збільшенні напружень приводить в підсумку до прискорення корозійного розтріскування. Разом з тим на кривих корозійного розтріскування $\sigma - \ell$ у більшості випадків виявляється границя мінімальних напружень $\sigma_{ГР}$, нижче яких розтріскування не настає на протязі тривалого терміну чи не відбувається взагалі. Величина граничних напружень залежить від конкретних умов, властивостей матеріалу, напруженого стану, корозійного середовища. Границя мінімальних напружень помічається при навантаженні як ззовні, так і залишковими зварювальними напруженнями.

2. Орієнтовні значення $\sigma_{ГР}$ для зварних з'єднань на сталі ВСтЗсп в середовищі НАСЕ складають $\approx \sigma_T$, а із сталі 18ХН9Ф відповідно $0.4\sigma_T$, а сталі 08ХМЧА - $\approx 0.5\sigma_T$, для сталей Ст20А, 40ХН і 06Г2БА відповідно $0.5\sigma_T$, $0.6\sigma_T$, $0.8\sigma_T$. Відсутність розтріскування при значеннях напружень менших граничних можна пояснити Недостатня концентрація напружень і малий запас потенційної



енергії необхідних для виникнення і розвитку корозійної тріщини пояснює відсутність розтріскування при значеннях напружень менших граничних.

3. Руйнування деталей машин та елементів будівельних конструкцій є в першу чергу фізичні та хімічні чинники. З метою виявлення механічних факторів досліджують наявні силові поля конструкції, встановлюють максимальні напруження біля концентраторів, визначають залишкові напруження й деформації, знаходять дефекти типу тріщин, крихкі зони, дислокації та ін. Для визначення хімічних факторів здійснюють аналіз поверхні в зоні руйнування, з'ясовують характер хімічної реакції в кінці корозійної тріщини, діагностують причини локального змінювання структури матеріалу і т.д. Для усунення небезпеки руйнування потрібно модифікувати необхідним чином конструкцію, замінити матеріал, усунути зовнішні причини, виконати додаткові запобіжні технологічні операції,

4. Наявність структурних включень типу зерен, мікротріщин, дислокацій практично у всіх матеріалах призводить до того, що їхня міцність стає значно меншою за теоретичну. При цьому, чим більша дефектність матеріалу, тим менша міцність за інших однакових умов. Якщо руйнування відбувається під дією повторного або циклічного навантаження, його називають руйнуванням від втомленості. Це явище відкрили У. Ранкіна та А. Веллер понад 100 років тому. Врахування втрати міцності від втомленості покладено в основу проектування й розрахунку більшості динамічно напружених конструкцій та машин. Це пов'язано з необхідністю підвищення експлуатаційної надійності, зниженням ваги й поліпшення економічних показників конструкцій.

Література

1. Макаренко В.Д., Савенко В.І., Гоц В.І., Іванченко Г.М. Корозійна стійкість при динамічному навантаженні будівельних споруд: монографія. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя. 2025. – 120 с ISBN 5-8365-1268-88

2. Савенко В.І., Нестеренко І.С., Ключова В.В., Полосенко О.В., Куліков П.М. Про проблеми визнання та впровадження інноваційних технологій і відносин



науковців з державними інститутами. SWorld Journal Issue #27 Part 1 September 2024 – с. 3-13 International periodic journal www.sworldjournal.com D.A.Tsenov Academy of Economics Svishtov (Bulgaria) Index Copernicus Google scholar ISSN 2663-5712 DOI:10.30888/2663-5712.2024-27-00-007

3. Макаренко В.Д., Гоц В.І., Савенко В.І., Владимиров О.В., Макаренко Ю.В. Експериментальні дослідження кінетики росту тріщин та несучої здатності трубних сталей підземних систем водовідведення//Опір матеріалів і теорія споруд: Вип. №110.- 2023, С.469-482

4. Гоц В , Макаренко В., Войтович О., Макаренко Ю.,, Савенко В., Владимиров О., Стогній О., Азутов В Дослідження впливу корозійного середовища на тривалу втомленість сталевих каналізаційних конструкцій наук-тех журн. Проблеми водопостачання , водовідведення та гідравліки. Випуск 43, КНУБА .2023 . с.36-44 [https //doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.36-44](https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.43.36-44)

5. Білик С.І., . Макаренко В.Д., Гоц В.І., Савенко В.І., Владимиров О.В., Шатрова І.А. та ін. Кінетика тріщиноутворення в сталевих конструкціях Монографія-Київ. НУБіП України. 2023. -248с.ISBN 5-8365-1268-82

Literature

1. Makarenko V.D., Savenko V.I., Gots V.I., Ivanchenko G.M. Corrosion resistance under dynamic loading of building structures: monograph. – Nizhyn: M. Gogol National University. 2025. – 120 p. ISBN 5-8365-1268-88

2. Savenko V.I., Nesterenko I.S., Klyueva V.V., Polosenko O.V., Kulikov P.M. On the problems of recognition and implementation of innovative technologies and relations between scientists and state institutions. SWorld Journal Issue #27 Part 1 September 2024 –pp. 3-13 International periodic journal www.sworldjournal.com D.A.Tsenov Academy of Economics Svishtov (Bulgaria) Index Copernicus Google scholar ISSN 2663-5712 DOI:10.30888/2663-5712.2024-27-00-007

3. Makarenko V.D., Gots V.I., Savenko V.I., Vladimirov O.V., Makarenko Yu.V. Experimental studies of crack growth kinetics and load-bearing capacity of pipe steels in underground drainage systems//Strength of Materials and Theory of Structures: Issue No. 110.- 2023, pp. 469-482

4. Gots V, Makarenko V., Voitovich O., Makarenko Yu.,, Savenko V., Vladimirov O., Stogniy O., Azutov V. Investigation of the influence of the corrosive environment on the long-term fatigue of steel sewer structures. Scientific and Technical Journal. Problems of water supply, drainage, and hydraulics. Issue 43, KNUBA. 2023. pp. 36-44. <https://doi.org/10.3347/2524-0021.2023.43.36-44>

5. Bilyk S.I., . Makarenko V.D., Gots V.I., Savenko V.I., Vladimirov O.V., Shatrova I.A. et al. Kinetics of crack formation in steel structures. Monograph. Kyiv. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2023. -248 p. ISBN 5-8365-1268-82



Abstract. The degradation of steels is largely influenced by stresses, the type and condition of the material, the loads characterized by sign, magnitude, and rigidity of the scheme, especially in the area of welded joint connections, stress concentration, cyclic stress, and the reserve and concentration of elastic potential energy. Most welded structures, subjected to the influence of corrosion-active environments, are shell-type constructions (reactors, tanks, cylinders, pipelines, body structures, machines, bridges, railways, etc.) with a characteristic biaxial stressed state. Therefore, the impact of stress factors and load types has been studied with respect to this state in materials with different strength, plasticity, and sensitivity to stress concentration in environments causing corrosion cracking.

To evaluate operational-corrosion strength, comparative tests of welded joints and base metals are conducted in both unstressed and stressed conditions. Testing methods to assess resistance can be classified based on the following criteria: 1) target purpose; 2) type of object tested; 3) type of stressed state; 4) types of experimental environments; 5) resistance indicator depending on the type of corrosion failure.

A review of literature from both domestic and foreign researchers, as well as practical data, reveals that the results in the majority of cases are contradictory and uncertain. Quantitative, substantiated recommendations for practical applications to enhance the corrosion-mechanical resistance of construction structures, pipeline constructions, and various types of equipment used in the oil and gas industry, construction, machine engineering, and other sectors are absent. Consequently, there is a growing demand for the study of causes and consequences of poor protection of these structures, pipes, and welded joints, necessitating additional experimental investigations.

The analysis of studies presented in literature sources indicates that the current focus is on the investigation of issues such as the influence of stress concentrators in welded joints on the development of corrosion cracks, which lead to the failure of special steels manufactured through improved steel modification techniques, particularly with elements like vanadium, niobium, and rare earth metals (REMs). Moreover, the results presented in domestic and foreign journals are contradictory, as they were conducted on different steels using various methods and evaluation criteria, which complicate the comparison of experimental results and do not provide a definitive assessment regarding the resistance of steels under loading, stress, defects in structure, and other factors. This necessitates the need for systematic and comprehensive experimental research, which could assist in the development of methods to extend the service life of metallic structures, pipelines, shells, and so on. Furthermore, there is an evident lack of state support for scientists and research programs, which hinders the development of fundamental science.

Keywords: special steels, stress concentrators, construction stability, shell structures, corrosion-active environments, corrosion cracking.



УДК 69.05:69.022

INNOVATIVE APPROACHES TO MONOLITHIC CONSTRUCTION: THE POTENTIAL OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА: ПОТЕНЦІАЛ ФІБРОБЕТОНІВ

Vitrovyi A.O. / Вітровий А.О.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2885-3745

Buyak A.Y. / Буяк А.Є.

c.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3756-6687

Popovich P.V. / Попович П.В.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-5516-852X

West Ukrainian National University, Ternopil, Lvivska, 11, 46009

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Львівська, 11, 46009

Анотація. Стаття присвячена дослідженню інноваційних підходів до підвищення ефективності монолітного будівництва шляхом використання фібробетонів. Визначено проблеми традиційного бетону, пов'язані з низькою тріщиностійкістю та обмеженою довговічністю конструкцій, що зумовлює потребу у впровадженні нових матеріалів. Проаналізовано теоретичні засади формування структури та властивостей фібробетону залежно від виду та концентрації дисперсних волокон. Розглянуто технологічні особливості приготування та укладання сумішей, а також приклади практичного використання у монолітному будівництві. Особливу увагу приділено економічним, експлуатаційним та екологічним перевагам фібробетонів порівняно з традиційними матеріалами. Обґрунтовано перспективність їх застосування у контексті сталого розвитку будівельної галузі та впровадження цифрових технологій. Зроблено висновок, що використання фібробетонів дозволяє оптимізувати співвідношення "вартість – якість – довговічність" у монолітному будівництві та визначено напрями подальших досліджень щодо вдосконалення складу й нормативної бази.

Ключові слова: монолітне будівництво; фібробетон; дисперсне армування; ефективність будівництва; тріщиностійкість; довговічність; інноваційні матеріали; економічна доцільність.

Вступ.

Монолітне будівництво залишається однією з ключових технологій сучасної будівельної галузі завдяки гнучкості, міцності та можливості реалізації складних архітектурних рішень. Проте традиційний бетон має суттєві обмеження: низьку тріщиностійкість, схильність до утворення мікротріщин та обмежену довговічність конструкцій, що збільшує витрати на ремонт і обслуговування.

Сучасні тенденції розвитку будівництва потребують інноваційних



матеріалів, здатних підвищити ефективність процесів і експлуатаційні характеристики споруд. Одним із таких рішень є фібробетон – бетон, армований дисперсними волокнами різного походження (металевими, полімерними, скляними, базальтовими), який забезпечує підвищену тріщиностійкість, ударну в'язкість та довговічність, скорочує витрати арматури та прискорює будівельні процеси.

Використання фібробетонів також відповідає принципам сталого та енергоефективного будівництва, сприяючи зменшенню споживання матеріалів, зниженню вуглецевого сліду та інтеграції цифрових технологій, таких як BIM-моделювання і 3D-друк.

Метою статті є оцінка потенціалу фібробетонів як інноваційного матеріалу для підвищення ефективності монолітного будівництва. Для досягнення цієї мети розглядаються фізико-механічні властивості фібробетону, технології його застосування, економічні та експлуатаційні переваги, а також перспективи розвитку та інтеграції з сучасними будівельними технологіями.

Основний текст.

Важливим етапом при підборі складу фібробетонів є вибір матеріалу фіброволокна. При цьому слід враховувати такі його показники як міцність, деформованість, хімічна стійкість армуючого волокна, його адгезія до бетону, коефіцієнт лінійного розширення тощо. В багатьох випадках вирішальної ролі набувають критерії вартості армуючих матеріалів та обсягів їх виробництва. Для прикладу, за критеріями міцності та стійкості неперевершеними є нитковидні монокристали, але їх виробництво навіть в промислово розвинутих країнах обмежене.

На сьогодні в основному використовуються такі види армуючих волокнистих матеріалів: натуральні, полімерні, скляні, базальтові та натуральні. Переваги та недоліки кожного типу відображено в таблиці 1.

В конструктивному плані найбільш ефективною є стальна фіброва арматура, модуль пружності якої є більш ніж в 6 раз вищим за модуль пружності бетону. Стальні волокна діаметром 8-10 мкм. по міцності відповідають



високовуглецевому холоднотягнутому дроту, хоча й мають в три рази меншу щільність. Модуль пружності скловолокон менший ніж у сталі, але все ж таки втричі вищий за модуль пружності бетону.

Таблиця 1- Порівняння основних видів волокон, що використовуються у фібробетонах:

Вид волокон	Матеріал	Переваги	Недоліки	Типові застосування
Металеві	Сталь	Висока тріщиностійкість, ударна в'язкість, міцність на розтяг	Схильність до корозії, підвищення ваги	Промислові підлоги, плити перекриття, мостові конструкції
Полімерні	Поліпропілен, HDPE, нейлон	Підвищення тріщиностійкості, зменшення усадки, стійкість до корозії	Менша жорсткість порівняно зі сталевими волокнами	Стяжки, тонкі конструкції, перекриття
Скляні	Алкалоустійке скло (AR-glass)	Висока міцність на розтяг, стійкість до корозії та агресивних середовищ	Крихкість, потреба в обробці проти лужного руйнування	Фасадні панелі, декоративні елементи, легкі конструкції
Базальтові	Розплавлена базальтова порода	Висока міцність, термостійкість, стійкість до хімії, не кородують	Вища вартість, менша гнучкість	Промислові підлоги, інфраструктурні об'єкти, морські споруди
Натуральні	Джут, льон, сизаль, кевлар, поліефір	Легкі, екологічно чисті	Обмежена міцність і довговічність	Декоративні бетонні елементи, легкі конструкції

Авторська розробка

Синтетичні волокна на основі поліпропілену характеризуються підвищеною деформативністю. Модуль пружності таких волокон зазвичай не перевищують 25% від модуля пружності звичайних бетонів. Тому волокна із поліпропілену не можуть виконувати функцію несучої арматури для бетонів. Їх застосування



вирішує питання запобігання пошкоджень і сколів бетонних конструкцій при транспортуванні та монтажі виробів, підвищення зносостійкості та підвищення ударної міцності.

Найбільше практичне значення має дослідження властивостей сталених та мінеральних (скляних та базальтових).

Металічні волокна-фібри, що використовуються як арматура, виготовляються різними способами: різанням на відтинки заданої довжини, рубанням тонкого сталевих листа, фрезеруванням спеціальних металевих заготовок тощо. Фібри можуть мати різноманітну конфігурацію поперечного перерізу: круглу, прямокутну, трикутну та трапецієвидну.

Найчастіше застосовують при армуванні бетонів нарізані з дроту фібри діаметром 0,3-1,5 мм. довжиною від 5 до 15 см. Для підвищення зчеплення з бетоном, фібри можуть мати періодичний профіль або відігнуті кінці.

Порівняльна характеристика сталених фібр наведена в таблиці 2.

Для отримання дисперсно-армованих бетонів важливими є геометричні параметри фібри, які характеризуються їх відносною довжиною (відношення довжини до діаметру фібри).

Ці параметри впливають не тільки на ступінь анкерування фібр в бетоні, але й на технологічні процеси отримання однорідної армованої бетонної суміші. Дослідження показують, що існує три стани, які залежать від довжини фібр та маси фібрової арматури.

Довжина фібр $l \leq 50d$ /. В цьому випадку фіброва маса залишається сипучою, і не виникає проблем з формуванням однорідної бетонної суміші при перемішуванні в звичайних бетонозмішувальних установках. Однак, застосування коротких фібр не вигідне, оскільки їх довжина недостатня для заанкерування в бетоні, і міцність сталі в конструкції використовується не повністю.

Довжина фібр $l \leq 80-120d$. При збільшенні довжини фібр, їх маса набуває зв'язаності. Отримання однорідної маси можливо при поступовому додаванні фібр в бетонну суміш при її перемішуванні.



Таблиця 2- Порівняння основних типів сталевих фібр для бетону

Тип фібр	Форма	Довжина / діаметр	Міцність на розтяг	Особливості зчеплення з бетоном	Основне застосування	Переваги	Недоліки
Прямі	Прямий дріт	30–60 мм / 0,5–1,2 мм	Дуже висока	Середнє, може вислизати	Загальні конструкції, підлоги	Висока міцність, проста виробництва	Може вислизати, нижче зчеплення
Гакоподібні	Зігнуті на кінцях, гачок	30–60 мм / 0,6–1,2 мм	Дуже висока	Високе, надійне	Промислові підлоги, тунелі	Добре утримуються в бетоні, контрольують тріщини	Складніша технологія, дорожчі
S-подібні / хвилясті	Дрібні вигини по всій довжині	30–60 мм / 0,5–1,0 мм	Дуже висока	Високе	Інфраструктурні об'єкти, дорожнє покриття	Поліпшене зчеплення, зменшення тріщиноутворення	Дорожчі, потребують ретельного перемішування
Мікрофібра (тонкий дріт)	Прямий або злегка хвилястий	5–20 мм / 0,2–0,5 мм	Висока	Середнє	Контроль тріщин на поверхні	Полегшує контроль тріщин, дешевше	Менше впливає на міцність на розтяг, може злипатися

Авторська розробка

Довжина фібр $l \geq 200d$. Зв'язність фібр між собою досягає такого рівня, що отримання однорідної суміші в бетонозмішувачах стає неможливим, і застосовують інші технологічні процеси, приміром, роторного забризкування. За твердженням практиків, оптимальним з технологічного вирішення є співвідношення $l = 100d$.



Для отримання високоякісного фібробетону, в бетонну суміш додано 4 види фібри. Для оцінки можливості застосування оптимального виду фібри, при виробництві високоякісного мілкозернистого сталеві фібробетону, були приготовлені та випробувані в лабораторії суміші, в яких в якості наповнювача використали гранітний відсів, а також в'язуче цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56. (таблиця 3)

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості мілкозернистого сталеві фібробетону в залежності від виду сталеві фібри.

Номер виду фібри	Склад				R _{ст} , МПа	R _{зг} , МПа
	Цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56, кг	Гранітний Відсів, м ³	Вода, л	Фібра сталеві, кг		
Без фібри	698	0,87	267	-	46	4,4
1	698	0,87	267	43,5	52,2	4,55
2	698	0,87	267	43,5	52,9	4,71
3	698	0,87	267	43,5	51,8	4,5
4	698	0,87	267	43,5	51,3	4,52

Отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)

Для встановлення оптимальної норми армування мілкозернистого сталеві фібробетону, в лабораторії сформували зразки сталеві фібробетону однакового складу, лише з різним вмістом сталеві фібри. (Таблиця 4).

Встановлено, що при армуванні в кількості 1,8 % від об'єму, фізико-механічні властивості бетону будуть найвищими.

Подальше зростання відсотку армування є не доцільним, так як призводить до зниження міцності та експлуатаційних характеристик сталеві фібробетону.

Фібробетони представляють собою інноваційний клас бетонних матеріалів, у яких традиційний бетонний розчин додатково армований короткими волокнами різного походження: сталевими, синтетичними, полімерними або природними. Основна мета використання фібробетонів – підвищення міцності матеріалу на розтягування, зменшення тріщиноутворення та покращення експлуатаційних характеристик конструкцій. У сучасному будівництві фібробетони стають ключовим інструментом для підвищення ефективності



процесів, скорочення термінів і зниження витрат, що особливо актуально при інтенсивному розвитку інфраструктури та промислового будівництва.

Таблиця 4 – Залежність міцності мілкозернистого сталевібробетону від відсотку армування

Номер зразка	Склад					
	Цемент Bursa M-550 CEM I 42,5 R 56, кг	Гранітний Відсів, м ³	Вода, л	Фібра стальна, кг		
	698	0,87	267	-	0	46,5
	698	0,87	267	26	1	47,09
	698	0,87	267	32	1,2	48,4
	698	0,87	267	36,5	1,4	51,2
	698	0,87	267	42,2	1,6	54,0
	698	0,87	267	47,1	1,8	54,65
	698	0,87	267	52,4	2,0	54,3

Отримано за даними випробувань в лабораторії ТОВ «Добробуд» (м. Тернопіль)

Перш за все, застосування фібробетонів дозволяє значно покращити механічні властивості бетонних конструкцій. Традиційний бетон характеризується високою міцністю на стиск, але слабкий на розтягування, що призводить до появи тріщин під час експлуатації. Введення фібри забезпечує рівномірне розподілення напружень у матеріалі та контроль тріщиноутворення навіть на ранніх етапах твердіння. Це дозволяє зменшити товщину бетонних елементів без зниження їх несучої здатності, що, у свою чергу, зменшує витрати матеріалів і знижує загальну вагу конструкцій.

Другим важливим аспектом є скорочення термінів будівельних робіт. Використання фібробетону зменшує потребу у традиційній арматурі, оскільки короткі волокна частково виконують її функцію у контролі тріщин. Це дозволяє зменшити обсяг робіт зі встановлення арматурних каркасів, а також спрощує процес укладання і ущільнення бетонної суміші. Особливо це відчутно на промислових підлогах, аеродромних покриттях та великих плоских поверхнях,



де традиційна арматура утруднює технологічний процес. Зменшення ручної роботи та спрощення технології укладання позитивно впливає на швидкість виконання проєкту та зменшує ризики виникнення дефектів.

Ще одним фактором підвищення ефективності будівництва є покращення довговічності та зносостійкості конструкцій. Волокна забезпечують додаткову стійкість бетону до ударних навантажень, циклічних змін температури та впливу агресивних середовищ. Це особливо актуально для інфраструктурних об'єктів, таких як мости, тунелі, дороги та промислові підлоги, де тріщини і руйнування матеріалу можуть призвести до дорогого ремонту або простою об'єкта. Використання фібробетонів дозволяє зменшити частоту ремонтних робіт і продовжити експлуатаційний термін конструкцій, що прямо впливає на економічну ефективність проєктів.

Не менш важливим є економічний аспект. Хоча первісна вартість фібробетону може бути дещо вищою за традиційний бетон через вартість фібр, загальна економія досягається за рахунок зменшення використання арматури, скорочення термінів будівництва, зниження витрат на ремонт і обслуговування. Крім того, легше обробляти та укладати бетонні суміші з фібрами, що зменшує потребу у спеціальній техніці та витратах на робочу силу.

Нарешті, фібробетони сприяють підвищенню безпеки будівельних процесів. Завдяки контролю тріщин та підвищеній ударостійкості матеріалу зменшується ризик аварійних ситуацій на об'єктах будівництва, особливо при швидкому темпі робіт або великих навантаженнях. Це робить фібробетон не тільки економічно вигідним, але й технологічно надійним матеріалом для сучасного будівництва.

Таким чином, використання фібробетонів дозволяє комплексно підвищити ефективність будівництва: за рахунок покращення механічних властивостей, скорочення термінів робіт, зменшення витрат на матеріали та обслуговування, а також підвищення безпеки конструкцій. Ці переваги роблять фібробетони ключовим елементом сучасних технологій у будівництві та відкривають нові можливості для оптимізації процесів у промисловому і цивільному будівництві.



Література:

1. Дворкін Л., Бордюженко О., Ковальчук Т. Фібробетон з композиційним дисперсним армуванням / Л. Дворкін, О. Бордюженко, Т. Ковальчук // Будівельні матеріали та вироби. – 2019. – №3. – С. 45–52. – Режим доступу: <https://www.building-journal.com.ua/index.php/bmap/article/view/bmap-100-03>
2. Скорук О. Дослідження роботи фібробетону в конструкціях при динамічних впливах / О. Скорук // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022. – Т. 23, №2. – С. 78–86. – Режим доступу: <https://bctp.knuba.edu.ua/article/view/270160>
3. Колектив авторів. Огляд видів фібр для дисперсно-армованих бетонів / Колектив авторів // Науковий вісник будівництва. – 2024. – №12. – С. 101–112. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/en/article/view/1756>
4. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П. Ефективність використання фібробетону як ядра для сталебетонних колон / О.Ю. Дорошенко, Ю.М. Дорошенко, Н.П. Чиженко // Науковий вісник будівництва. – 2024. – №12. – С. 113–123. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/en/article/view/1756>

Abstract. The article explores innovative approaches to improving the efficiency of monolithic construction through the use of fiber-reinforced concrete (FRC). The limitations of traditional concrete, particularly low crack resistance and limited durability, are outlined as key challenges in modern construction. Theoretical foundations of FRC, including the influence of fiber type and distribution on structural and mechanical properties, are analyzed. Technological aspects of FRC mixing and placement, as well as practical applications in monolithic structures, are examined. Special attention is paid to the economic, operational, and environmental advantages of FRC compared to conventional materials. The study highlights the role of FRC in sustainable construction and its integration with digital technologies. It is concluded that the use of fiber-reinforced concrete optimizes the balance of “cost–quality–durability” in monolithic construction, while directions for further research include the improvement of material composition and development of regulatory frameworks.

Key words: monolithic construction; fiber concrete; dispersed reinforcement; construction efficiency; crack resistance; durability; innovative materials; economic feasibility.

Статтю надіслано: 24.09.2025 р.



УДК 726.8(477):930.25

MEMORIAL SPACES OF DNIPR CITY, THE ISSUES OF RESTORATION AND INTEGRATION INTO THE MODERN URBAN ENVIRONMENT

МЕМОРІАЛЬНІ ПРОСТОРИ М. ДНІПРА, ПРОБЛЕМАТИКА РЕСТАВРАЦІЇ ТА ІНТЕГРАЦІЇ У СУЧАСНЕ МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Polyushkin S. S. /Полюшкін С. С.*s.t.s., as.prof. /к. н., доцент*

ORCID: 0009-0002-4740-7652

Kharchenko K. S / Харченко К. С.*s.t.s., as.prof. /к.т. н., доцент*

ORCID: 0000-0002-1908-4852

Ukrainian State University of Science and Technology (NNI Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture), 24-a, Architect Oleg Petrov St., 49005, Dnipro, Ukraine
Український державний університет науки і технологій (ННІ ПДАБА),
вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49600, Дніпро, Україна;

Анотація. У статті розглянуто проблематику збереження та реставрації пам'ятки культурної спадщини – «Група могил радянських воїнів: 6 братських могил», розташованої у Парку Пам'яті та Примирення в місті Дніпро. Актуальність дослідження зумовлена потребою збереження меморіальних комплексів як носіїв колективної пам'яті та важливих елементів міського культурного середовища. Проаналізовано історичний контекст створення меморіалу, його архітектурно-просторову структуру та художні особливості, що відображають тенденції радянського монументального мистецтва 1970-х років. Проведено візуальне обстеження, зафіксовано руйнацію оздоблювальних матеріалів, просідання мощення, втрату автентичних елементів та відсутність умов для інклюзивного доступу. Запропоновано науково обґрунтовані підходи до реставрації. Підкреслено соціокультурне значення меморіалу як простору колективної пам'яті та його роль у процесах деколонізації й формування української національної ідентичності.

Ключові слова: меморіальний комплекс, реставрація, культурна спадщина, інклюзивність, урбаністичне середовище, колективна пам'ять.

Вступ.

Меморіальні комплекси посідають особливе місце у структурі культурної спадщини, адже вони є не лише архітектурними чи ландшафтними об'єктами, а й носіями колективної пам'яті суспільства. Вони виконують багатофункціональну роль: з одного боку, це простори скорботи та вшанування загиблих, з іншого – важливі елементи урбаністичного середовища, що формують культурну ідентичність міста. Проблема збереження та реставрації пам'яток історії й культури є актуальною в умовах сучасних суспільно-політичних трансформацій України. Особливе значення мають меморіали, пов'язані з трагічними подіями XX століття, адже вони є не лише символами жертвності та мужності, але й елементами культурного середовища



міста, що потребує належного догляду й збереження [1; 5].

Метою статті є наукове обґрунтування необхідності реставраційних робіт пам'ятки культурної спадщини «Група могил радянських воїнів: 6 братських могил», розташованій у Парку Пам'яті та Примирення в місті Дніпро, з урахуванням історико-культурного контексту, сучасних нормативних вимог та тенденцій збереження об'єктів культурної спадщини.

Завданнями дослідження: аналіз історії створення пам'ятки та її місця у культурному середовищі Дніпра; визначення архітектурно-просторових особливостей меморіалу; оцінка сучасного технічного стану об'єкта; розробка науково обґрунтованих підходів до реставрації та благоустрою; висвітлення соціокультурного виміру збереження пам'ятки.

Методологічною основою дослідження є історико-культурний та архітектурно-мистецтвознавчий аналіз, методи візуального спостереження, а також вивчення чинної нормативно-правової бази щодо охорони культурної спадщини.

Історичний контекст пам'ятки. Меморіал «Група могил радянських воїнів: 6 братських могил» був створений з метою увічнення пам'яті про військовослужбовців, загиблих у Дніпропетровську під час Другої світової війни. З жовтня 1943 р. по квітень 1944 р. у місцевих госпіталях від ран померли сотні солдатів, яких поховали у братських могилах на території Чечелівського кладовища. Загалом у шести могилах спочивають останки 426 воїнів, серед яких Герої Радянського Союзу Горелов Василь Павлович і Шишкін Іван Миколайович [6].

У 1946 р. на місці кладовища було закладено парк культури та відпочинку імені М.І. Калініна. В 1976 р. після реконструкції парку відбулося урочисте відкриття меморіалу. Авторами проекту стали архітектори Євтушенко Олександр Станіславович та Ушаков Микола Іванович. Меморіал відповідав художнім тенденціям радянського монументального мистецтва 1970-х років, поєднуючи монументальність форми з лаконічними архітектурними деталями.

Протягом 1990-х рр. німецькі та італійські поховання, що також існували на



території кладовища, були перенесені на історичну батьківщину. Таким чином, меморіал зберіг статус поховання виключно радянських воїнів, ставши важливим історико-культурним маркером у міському просторі Дніпра.

Дніпропетровський обласний центр охорони історико-культурних цінностей (лист № 471/1 від 27.11.2024 р), зазначив що предметом охорони Пам'ятки є 6 братських могил. Декоративна стела з дзвонами та благоустрій навколо пам'ятки не є предметом охорони.[1, 4].

Сьогодні, в умовах війни Росії проти України, меморіальні комплекси набувають ще більшої значущості. Вони стають не тільки місцем вшанування полеглих, але й простором актуалізації теми боротьби за незалежність, ареною формування національної ідентичності та історичної свідомості. Меморіали радянського періоду, такі як група братських могил у місті Дніпро, потребують переосмислення з позицій деколонізаційної політики та з урахуванням сучасних викликів, але водночас вони залишаються важливим нагадуванням про трагедії війни. Їхня актуальність не втрачається й сьогодні, оскільки вони дозволяють сучасникам осмислювати історичне минуле та транслювати досвід попередніх поколінь [5; 11]. Меморіали нагадують про ціну свободи, збереження миру та необхідність солідарності суспільства перед зовнішніми загрозами.

Архітектурно-просторова характеристика. Ділянка пам'ятки 30×56 м має складну форму, наближену до шестикутника. Простір викладений залізобетонними плитами та мармуровою мозаїкою, що підкреслює ритуальний характер території. Основними елементами є шість однотипних братських могил, об'єднаних декоративною стіною зі стилізованими стелами з червоної цегли (рисунок 1).

В могилах поховані останки 426 радянських воїнів, які загинули та померли від ран в госпіталях м. Дніпропетровська з жовтня 1943р. по квітень 1944р. Серед них Герої Радянського Союзу Горелов Василь Павлович і Шишкін Іван Миколаєвич. На могилах встановлені надгробки на яких викарбувані звання і прізвища похованих воїнів. За групою могил, на відстані 2.25 м розташована декоративна стіна із червоної цегли, висотою 6.5 м, що має форму трапеції



(10.55x30x10.55x1.4м). Середня частина стіни (30 м) розділена на 6 частин - стел, що мають єдину основу. Відстань між стелами 0.6м. В верхній частині цегляні стели з'єднанні спареними залізобетонними консолями (1x1.25x4.4м), до внутрішніх сторін яких підвішені безмовні чавунні дзвони – 5 дзвонів висотою 0.7м, діаметром 0.8м.



Рисунок 1 - Зовнішній вигляд об'єкта культурної спадщини

На бокових частинах (10.55 м) декоративної стіни текст: з ліва – «1941–1945», з права – «Помніте...».

Композиція меморіалу організована за принципом урочистої стіни скорботи, що обрамлює поховання та підсилює відчуття трагізму. Архітектурна мова поєднує строгість геометрії та експресію символів, характерних для радянських меморіальних ансамблів другої половини XX століття [8].

Сучасний стан об'єкта. За результатами обстеження, технічний стан пам'ятки оцінюється як «незадовільний» (рисунок 2).

Основні проблеми:

- просідання мощення та руйнація плиткового покриття більш ніж на 60 % площі;
- руйнація:
 - ✓ фундаменти – бетонні та цегляні, знаходяться в задовільному стані;
 - ✓ цегляна стіна (із керамічної пористої цегли) товщиною від 1,56 до



1,03 м. – знаходиться в задовільному стані, але опорядження стіни з лицьової цегли на площі понад 70% повністю зруйноване, особливо з північного боку;

- ✓ залізобетонні конструкції консолей на яких закріплені чавунні дзвони, знаходяться в задовільному стані.);
- ✓ конструкції надгробків оздоблені зі всіх боків багатошаровим штукатуренням, що не дає змоги дослідити їх технічний стан.
- втрата оригінальних бронзових табличок з іменами;
- пошкодження від стихійної рослинності, що руйнує фундаменти;
- відсутність освітлення та належного благоустрою;
- невідповідність існуючого пандуса вимогам ДБН В.2.2-40:2018 щодо інклюзивності [2];
- сліди пошкоджень внаслідок російських ракетних обстрілів у безпосередній близькості до парку.

Таким чином, меморіал потребує комплексної реставрації з урахуванням сучасних нормативів і принципів збереження культурної спадщини.



Рисунок 2 - Фотофіксація результатів візуального огляду

Наукові підходи до реставрації. Реставраційні роботи повинні здійснюватися відповідно до міжнародних та національних принципів охорони пам'яток:

- принцип автентичності – максимально можливе збереження оригінальних матеріалів та форм;



- принцип мінімального втручання – заміна елементів лише у випадку повної втрати;
- адаптація до сучасних умов – забезпечення доступності та безпеки відвідування [9].

Необхідні заходи:

- відновлення мощення із використанням ФЕМ-плитки з антиковзним покриттям, покриття повинно відповідати вимогам ДБН В.1.2-9:2021 "Безпека і доступність при експлуатації";
- реконструкція фасадів з використанням матеріалів, що імітують первісну кладку;
- заміна інформаційних табличок на довговічні металеві або гранітні;
- улаштування сучасного пандуса відповідно до ДБН;
- встановлення підсвічування меморіалу з енергоефективних LED-світильників;
- облаштування озеленення (висадка ялівців, декоративних кущів) [10].

Важливо також врахувати вимоги законодавства України про деколонізацію топонімів і заборону символіки тоталітарних режимів [3]. Інформаційні написи слід оновити відповідно до сучасних норм комеморації.

Соціокультурний вимір реставрації. В проектній документації – проект реставрації об'єкта культурної спадщини «Група могил радянських воїнів: 6 братських могил», місце розташування: просп. Сергія Нігояна, Парк Пам'яті та Примирення, м. Дніпро, необхідно врахувати рекомендації щодо виконання вимог Закону України «Про засудження та заборону пропаганди російської імперської політики в Україні і деколонізацію топонімів» [3] беручи до уваги що пам'ятка розташована у центрі міста і є загально міським громадським простором. Врахувати сучасні межі території, благоустрій території та існуючі зелені насадження. Меморіали є просторами колективної пам'яті, де формуються ідентичність та цінності спільноти [7, 11]. В умовах війни з Росією українське суспільство переосмислює радянську спадщину: відбувається процес деколонізації, зміни символів і смислів у публічному просторі.



Реставрація меморіалу може стати прикладом суспільного простору пам'яті: підкреслити роль воїнів як борців за свободу; перетворити парк на місце діалогу поколінь; поєднати меморіальну та рекреаційну функції.

Запровадження QR-коду на стелі з цифровою базою імен похованих воїнів створить додатковий освітній та науковий ресурс для мешканців і гостей міста. Таким чином, актуальність дослідження і реставрації меморіальних комплексів полягає у їхній багато вимірності: вони поєднують у собі історичну, культурну, соціальну, архітектурну та урбаністичну функції. Від якості їх збереження залежить не тільки архітектурний вигляд міста, але й рівень розвитку культури пам'яті та ідентичності українського суспільства в цілому.

Висновки.

Пам'ятка «Група могил радянських воїнів: 6 братських могил» у місті Дніпро має велике історико-культурне значення як свідчення подій Другої світової війни та символ жертвності солдатів та незалежності.

Сучасний стан об'єкта вимагає невідкладних реставраційних робіт, спрямованих на фізичне збереження та адаптацію пам'ятки до потреб сучасного суспільства.

Реставрація має ґрунтуватися на принципах автентичності, інклюзивності та інтеграції меморіалу у міський простір. Вона дозволить поєднати збереження культурної спадщини з формуванням сучасного громадського простору, який сприятиме осмисленню історії та зміцненню національної пам'яті.

Література:

1. Закон України «Про засудження комуністичного та націонал-соціалістичного (нацистського) тоталітарних режимів в Україні та заборону пропаганди їхньої символіки». – Відомості Верховної Ради України, 2015.
2. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд». – Київ : Мінрегіон України, 2018.
3. Закон України «Про засудження та заборону пропаганди російської імперської політики в Україні і деколонізацію топонімії». – Відомості Верховної



Ради України, 2023.

4. Збірник матеріалів, рекомендацій і документів щодо виконання вимог Закону України «Про засудження та заборону пропаганди російської імперської політики в Україні і деколонізацію топонімів» / за ред. М. Тахтаулової. – Київ : Смолоскип, 2023. – 42 с.

5. Assmann A. Cultural Memory and Western Civilization: Functions, Media, Archives. – Cambridge : Cambridge University Press, 2011.

6. Старостін В.С. Столиця степового краю. Дніпропетровськ: нариси з історії міста / В.С. Старостін. – Дніпропетровськ : Дніпрокнига, 2004. – 278 с.

7. Проскуряков В.І. Монументальний дизайн / В.І. Проскуряков, Яців М.Б. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. С. 11 - 17.

8. Естетика: Підручник / Л. Т. Левчук, В. І. Панченко, О. І. Оніщенко, Л. Ю. Кучерюк; За заг. ред. Л. Т. Левчук. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2006. — 431 с :

9. The Venice Charter. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. – ICOMOS, 1964.

10. Jokilehto J. A History of Architectural Conservation. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 1999 - 488 с.

11. Нора П. Теперішнє, нація, пам'ять / пер. з фр. А. Рєпа. Київ: Кліо, 2014. 272 с.

Annotation. The article examines the issues of preservation and restoration of a cultural heritage monument - "Group of Graves of Soviet Soldiers: 6 Mass Graves", located in the Park of Memory and Reconciliation in the city of Dnipro. The relevance of the study is due to the need to preserve memorial complexes as carriers of collective memory and important elements of the urban cultural environment. The historical context of the creation of the memorial, its architectural and spatial structure and artistic features that reflect the trends of Soviet monumental art of the 1970s are analyzed. A visual inspection was conducted, and the destruction of finishing materials, subsidence of paving, loss of authentic elements and the lack of conditions for inclusive access were recorded. Scientifically substantiated approaches to restoration are proposed. The socio-cultural significance of the memorial as a space of collective memory and its role in the processes of decolonization and the formation of Ukrainian national identity are emphasized.

Keywords: memorial complex, restoration, cultural heritage, inclusivity, urban environment, collective memory.



УДК 528.44:332.2:349.42(477)"2022/..."[355]

SPECIFIC FEATURES OF LAND CADASTRE MAINTENANCE IN UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MILITARY AGGRESSION

ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ

Kahnich P.F. / Кахнич П.Ф.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Lyusak A.V. / Люсак А.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-6934-6291

*National University of Water and Environmental Engineering,**Rivne, Soborna, 11, 33000**Національний університет водного господарства та природокористування,**Рівне, Соборна, 11, 33000*

Анотація. У статті досліджено сучасні проблеми та особливості ведення Державного земельного кадастру України в умовах військової агресії російської федерації. Проаналізовано правові, організаційні та технічні аспекти забезпечення функціонування кадастрової системи у період воєнного стану. Особлива увага приділяється цифровізації земельних відносин, інтеграції геоінформаційних систем, питанням доступності даних та захисту критичної інформаційної інфраструктури. Проведено порівняльний аналіз міжнародного досвіду (Польща, Литва, Німеччина) та можливостей його адаптації в українських реаліях. Визначено ключові напрями удосконалення земельного кадастру у післявоєнний період для забезпечення сталого відновлення та ефективного управління земельними ресурсами.

Ключові слова: земельний кадастр, воєнний стан, цифровізація, геоінформаційні системи, земельні ресурси, агресія рф, відновлення

Вступ.

Ведення земельного кадастру є одним з ключових елементів ефективного управління земельними ресурсами будь-якої держави. В Україні, де частка сільськогосподарських угідь становить понад 70% території, функціонування кадастрової системи має стратегічне значення не лише для економіки, а й для забезпечення продовольчої безпеки та стійкого розвитку.

З початком військової агресії російської федерації у 2014 р., а особливо після повномасштабного вторгнення у 2022 р., постала низка нових викликів у сфері ведення Державного земельного кадастру (ДЗК). Вони пов'язані з тимчасовою окупацією територій, знищенням інфраструктури, кібератаками, неможливістю проведення геодезичних робіт у небезпечних зонах, а також з необхідністю захисту даних від несанкціонованого доступу.



Метою статті є комплексний аналіз особливостей функціонування земельного кадастру України в умовах воєнного стану, визначення проблемних аспектів та окреслення перспектив удосконалення кадастрової системи з урахуванням міжнародного досвіду.

Сучасний стан ведення земельного кадастру в Україні. Державний земельний кадастр України функціонує на основі Закону України «Про Державний земельний кадастр» від 7 липня 2011р. та низки підзаконних актів [1].

До початку повномасштабної агресії України функціонування кадастру демонструвало позитивні тенденції. У 2013 р. було запущено Публічну кадастрову карту України, що стало важливим кроком до відкритості земельних відносин. До 2021 р. база ДЗК охоплювала близько 72 % території країни із внесеними відомостями про земельні ділянки [2].

Важливим досягненням стало і переведення частини сервісів у режим онлайн: можливість замовлення витягів із кадастру, отримання інформації про нормативну грошову оцінку землі тощо. Це дозволило знизити рівень корупційних ризиків і полегшило доступ громадян до цих послуг.

Водночас існувало і багато проблем: понад 20 % ділянок залишалися невнесеними у ДЗК; у багатьох громадах не завершено інвентаризацію земель; частина картографічної основи була застарілою. Наприклад, у багатьох районах використовувалися карти 1980–1990-х рр., що ускладнювало визначення меж ділянок.

Станом на 2021 р. у кадастрі містилося понад 22 млн записів щодо земельних ділянок [2]. Однак війна суттєво ускладнила його функціонування:

- значна частина даних з тимчасово окупованих територій є недоступною;
- обмежено проведення землеустрою у зонах бойових дій;
- зросли ризики втрати даних через кібератаки та фізичне пошкодження серверів;
- існують проблеми верифікації прав власності на земельні ділянки переселенців.



У 2022 р. у зв'язку з воєнними діями тимчасово було обмежено публічний доступ до кадастрової карти з міркувань безпеки, що знизило прозорість земельного ринку [3]. Це негативно вплинуло на інвестиційну привабливість сільськогосподарського сектору.

Проблеми та виклики в умовах воєнного стану. Воєнні дії призвели до знищення та пошкодження об'єктів інфраструктури кадастру. У Харківській, Херсонській та Донецькій областях у 2022–2023 рр. зафіксовано випадки руйнування центрів надання адміністративних послуг, які працювали з кадастровими даними [4].

На окупованих територіях російські адміністрації намагалися створювати власні реєстри земель, що призводить до ризику подвійної реєстрації у майбутньому. Це особливо загострює проблему у разі повернення територій під контроль України.

Масове мінування земель у Київській, Чернігівській, Сумській, Миколаївській областях унеможлиблює проведення геодезичних робіт. За даними ДСНС, станом на червень 2024 р. заміновано близько 30 % угідь Харківщини [5]. У багатьох випадках це призводить до втрати врожайності та ускладнює підготовку до відновлення аграрного виробництва.

У 2022р. фіксувалися масовані DDoS-атаки на ресурси Держгеокадастру, що призвело до блокування сервісів і затримки у видачі витягів з кадастру [6].

Таким чином, виклики мають як фізичний, так і цифровий вимір.

Нормативно-правові та інституційні аспекти. В умовах війни законодавство України зазнало суттєвих змін. Верховна Рада прийняла низку законодавчих актів, що стосуються земельних відносин у період воєнного стану. Україна оперативно адаптувала правове поле.

Постанова Кабінету Міністрів України від 07.05.2022 №564 «Деякі питання ведення та функціонування Державного земельного кадастру в умовах воєнного стану» визначила умови ведення Державного земельного кадастру протягом дії воєнного стану в Україні та одного місяця з дня його припинення/скасування.

Законом України від 12 травня 2022 р. № 2247-IX [7] дозволено



використання земельних ділянок для потреб оборони без зміни їх цільового призначення, спрощено процедури відведення земель під будівництво фортифікаційних споруд, запроваджено обмеження щодо передачі земель у приватну власність у зонах бойових дій; запроваджено мораторій на проведення певних реєстраційних операцій у зонах бойових дій.

У 2023 р. було створено Національний фонд відновлення земель, у який передаються ділянки, пошкоджені війною або вилучені у державну власність за рішенням суду [8]. Це стало правовою основою для майбутнього відновлення інфраструктури.

Кабінет Міністрів України прийняв постанову від 02 липня 2025 р. № 794 «Деякі питання продовження пілотного проекту щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками». Згідно з постановою передбачено до 31 грудня 2026 року реалізувати пілотний проект щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками.

Також постановою встановлюються особливості реалізації пілотного проекту під час воєнного стану в Україні та протягом місяця з дня його припинення чи скасування.

КМУ також вніс зміни до Порядку ведення Державного земельного кадастру. Відповідна постанова «Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 року №1051» була ухвалена на засіданні Уряду 10 вересня 2025 року.

Постанова змінює підходи до розгляду заяви про внесення відомостей (змін до них) до Державного земельного кадастру та доданих до неї документів з урахуванням положень Закону України від 17.02.2022 №2073-IX «Про адміністративну процедуру».

Ухвалені зміни сприяють встановленню чітких правил взаємодії між державою та громадянами у сфері ведення Державного земельного кадастру, зокрема, процедури і встановлені кінцеві терміни (дата або час), до яких



необхідно завершити певне завдання. Це означає, що для представників бізнесу всі процеси стануть більш передбачуваними. Крім того, очікується зменшення кількості затримок і витрат, оскільки з'явиться можливість виправити недоліки без подання «з нуля».

Також активно розвивається співпраця Держгеокадастру з Міністерством оборони та ДСНС щодо моніторингу замінованих територій, а також із міжнародними партнерами щодо гармонізації кадастрового законодавства з європейськими нормами

Разом з тим, існує потреба у гармонізації законодавства з європейськими стандартами (INSPIRE Directive, LADM Model), що сприятиме інтеграції кадастрових даних у міжнародний обіг.

Цифровізація та геоінформаційні системи. У 2023 р. розпочато роботу над інтеграцією кадастру з платформою «Дія», що відкриває нові можливості для прозорості та електронного урядування.

Одним із ключових напрямів стійкості кадастру стало впровадження цифрових технологій. Зокрема:

- у 2022–2024 рр. відбулося активне перенесення даних у хмарні сховища, що дозволило зберегти понад 90 % кадастрової інформації, навіть попри атаки на сервери [9];
- інтеграція з системою «Дія» та іншими державними реєстрами;
- застосування супутникових знімків для оперативного оновлення кадастрової інформації [5];
- використання супутникових знімків ESA (Copernicus) для картографування зруйнованих угідь у Харківській області;
- запуск пілотного проєкту «Кадастр+», що інтегрує дані ДЗК з реєстром нерухомості;
- співпраця зі Світовим банком для впровадження LADM.

Міжнародний досвід та можливості адаптації. У країнах ЄС, що мали досвід криз, земельні кадастри стали ключовим інструментом відновлення. Польща після Другої світової війни запровадила багаторівневу систему



дублювання кадастрових записів [10]. Литва у 1990-х інтегрувала кадастр із системою реєстрації прав власності. Німеччина після возз'єднання у 1990 р. здійснила масштабну перевірку прав власності у Східній Німеччині, що стало основою для справедливого розподілу прав.

Для України може бути доцільним впровадити багаторівневе резервування даних (центральный сервер + регіональні копії + хмарні архіви), створити публічно-доступні карти відновлення («Land Recovery Map»), що забезпечить прозорість і відкритість даних для суспільства та інвесторів, та використати міжнародну допомогу для формування нового цифрового кадастру.

Застосування таких підходів сприятиме уникненню проблеми втрати даних, підвищенню довіри до української кадастрової системи у післявоєнний період та створенню передумов для інвестицій у відновлення.

Висновки.

В умовах воєнного стану земельний кадастр України функціонує з численними обмеженнями, але зберігає стратегічну роль. Основними проблемами залишаються втрата доступу до даних, кібератаки, мінування, юридична невизначеність прав власності.

Встановлено, що в післявоєнний період кадастр стане ключовим інструментом відновлення та залучення інвестицій. І саме цифровізація та ГІС забезпечать стійкість і модернізацію кадастрової системи через гармонізацію законодавства з європейськими стандартами.

Література:

1. Закон України «Про Державний земельний кадастр» від 07.07.2011 № 3613-VI.
2. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Звіт про діяльність, 2021.
3. Міністерство цифрової трансформації України. Обмеження доступу до Публічної кадастрової карти, 2022.
4. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру.



Інформація про руйнування об'єктів у 2022–2023 рр.

5. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Дані про заміновані території, 2024.

6. Міністерство цифрової трансформації України. Звіт про кібератаки у 2022 р.

7. Верховна Рада України. Закон № 2247-IX від 12.05.2022.

8. Кабінет Міністрів України. Постанова про створення Національного фонду відновлення земель, 2023.

9. Держгеокадастр України. Дані про збереження кадастрової інформації у хмарних сервісах, 2024.

10. INSPIRE Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the EU, 2007.

Abstract. *The article examines the current problems and peculiarities of maintaining the State Land Cadastre of Ukraine under the conditions of the Russian Federation's military aggression. The legal, organizational, and technical aspects of ensuring the functioning of the cadastre system during martial law are analyzed. Special attention is paid to the digitalization of land relations, the integration of geographic information systems, issues of data accessibility, and the protection of critical information infrastructure. A comparative analysis of international experience (Poland, Lithuania, Germany) and the possibilities of its adaptation in Ukrainian realities has been conducted. The key directions for improving the land cadastre in the post-war period are identified to ensure sustainable recovery and effective land resource management.*

Key words: *land cadastre, martial law, digitalization, GIS, land resources, Russian aggression, recovery*

Статтю надіслано: 24.09.2025 р.

© Кахнич П.Ф., Люсак А.В.



UDC 624.012.4

TECHNOLOGIES OF APPLYING ACRYLIC COMPOSITIONS FOR MONOLITHIC JOINTING OF OLD AND NEW CONCRETE WHEN CONSTRUCTING BUILDINGS AND STRUCTURES

Zolotova Nina

Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology; O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv: Ukraine, orcid.org/0000-0002-1802-8584 (indicate your number, if not - delete the line) Kharkiv, str. Chornoglazivska 17, 61002.

Suprun Oleh

orcid.org/0000-0003-1259-4769

Ph.D. in Engineering senior lecturer of the Department of Construction Production Technology; O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv: Ukraine, Kharkiv, str. Chornoglazivska 17, 61002.

Annotation. The study examines in detail various methods of applying acrylic adhesives to the surface of already hardened concrete in order to ensure a strong connection with the new concrete mixture. This procedure is critically important in the context of construction, reconstruction and repair works, where it is necessary to integrate old and new concrete elements. Such works are often performed during the construction of large monolithic concrete and reinforced concrete structures, as well as when restoring or changing their size and shape. To effectively perform large volumes of work, especially on vertical surfaces, it is recommended to use mechanized hand tools, such as various sprayers. These tools allow for uniform and rapid application of adhesive, ensuring a high-quality connection between old and new concrete. One of the most widely used methods of applying adhesives and protective coatings to vertical surfaces of concrete and reinforced concrete structures is pneumatic spraying.

Keywords: construction, reconstruction, acrylic adhesive, concrete, pneumatic spraying, air spraying, adhesive materials, adhesion.

Introduction When performing construction work that includes reconstruction or repair, there is often a need to ensure a reliable connection between the existing old concrete and the newly laid new concrete. This is especially important when forming monolithic arrays and adjusting the geometric parameters of structures. To ensure a strong connection between old and new concrete during the reconstruction or repair of buildings, special adhesives are often used. Our research has confirmed that acrylic adhesives are an effective and cost-effective alternative to traditional materials such as epoxy resins. They not only demonstrate similar adhesion and strength indicators, but also surpass them in terms of manufacturability, and are also 16-24% cheaper. Thanks to these advantages, acrylic adhesives are becoming an ideal solution for widespread use in the construction industry [1-3].



Statement and solution of the problem.

During construction, reconstruction and repair of buildings and structures, works are performed to connect old concrete with new concrete. Such works are performed during the erection of monolithic massive concrete and reinforced concrete structures, restoration and change of their dimensions and configurations. In order to improve adhesion and increase the strength of the connection of old concrete with new concrete, various polymer adhesives and compounds have recently been used [1-4]. The authors have developed the technology of such connection using acrylic adhesives [5-10]. Concrete joining with acrylic adhesives has a number of advantages over the use of other polymers for this purpose. They are not inferior to the existing ones (e.g., epoxy) in terms of adhesion and cohesive properties, but have better technological properties and are 18...30% cheaper than the mentioned ones.

Physical and mechanical properties of acrylic adhesives are sufficiently described in [11-12]. The results of determining the strength of joints between old and new concrete depending on various factors are described in [13, 14]. However, no attention has been paid to the study of individual operations of the technology of caulking of old concrete with new concrete using acrylic adhesives.

One of the operations of this technology is the application of acrylic adhesives to the surface of old concrete prepared for bonding. Studies have shown that in the case of small bonding surfaces, the application of glue on them can be carried out manually. Thus, the application of glue on the horizontal surface is carried out with the help of trowels, laths, brushes, watering and other methods. The application of glue on the vertical surface is carried out with the help of skillets, brushes, trowels, rollers and other methods. These methods are characterized by simplicity and do not require special skills and skill.

In case of significant volumes of work for application of adhesives on vertical surfaces it is recommended to use mechanized hand tools - various atomizers. Atomization of adhesive compositions can be pneumatic (air) and hydrodynamic (airless).

The method of pneumatic atomization is one of the most common ways of



applying adhesives and protective coatings on vertical surfaces of concrete and reinforced concrete structures. Its main advantages are versatility, relatively high productivity, simplicity of technical implementation, good enough quality of the obtained coatings.

As shown by the experiments conducted by the method of pneumatic atomization it is possible to apply acrylic adhesives with viscosity up to 100 s according to viscometer VZ-4 on the surfaces of structures of various sizes and configurations.

The main advantages of the pneumatic atomization method are: the possibility of application in various production conditions, as it requires only a source of compressed air with a pressure of 0.2 - 0.6 MPa; the possibility of using acrylic adhesives, provided that their working viscosity is 17-100 sec according to viscometer VZ-3; the possibility of coating the surfaces of structures of various sizes and configurations; obtaining coatings of high quality; simplicity and reliability in the maintenance of spraying devices.

For pneumatic atomization atomizing heads are used, consisting of a material nozzle and air head, fixed coaxially. The adhesive is fed to the material nozzle orifice; compressed air flows into the annular gap formed by the air head orifice and the tip of the material nozzle.

Depending on the design of the spray gun head, the shape of the plume jet or, more precisely, its prints on the concrete surface can be in the form of a circle or a flat strongly elongated oval. Conical jet with the shape of the base in the form of a circle gives the head, which has an air nozzle in the form of a circular hole located around the material nozzle slightly protruding from it. This is the simplest head has a torch of high density and allows you to move the spray gun when applying adhesive material at high speed. Most often these heads can be used when applying adhesive to small and complex embossed surfaces.

A flat torch is formed by a head having two side holes in addition to the central hole. Jets of air coming out of the side holes, compress the atomizing jet of glue and give it a flat shape. Such heads are called heads with air crimping jet. In addition, a flat torch is formed by a head with an air nozzle in the form of a slit. They are called slotted



or heads with mechanical crimping of the jet and are used when the pressure of air atomization does not exceed 0.25 MPa. Usually the heads of spray guns with air-crimped jet are also adapted to produce a round jet.

As studies have shown, the flat jet torch is better to use when applying acrylic adhesive on large flat surfaces. Intermediate between round and flat jet is an oval jet, in this case the side holes in the atomizer head are located at an insignificant angle to the direction of the torch axis and at the exit of the material nozzle. Oval jet is better used where you need a torch with increased density and width of its imprint compared to the round jet.

To obtain a normal flare jet the holes of air and material nozzles should be located strictly concentric. Depending on the purpose of spray guns can be medium pressure 0,25 - 0,55 MPa, and low pressure - up to 0,25 MPa. Spray guns of medium pressure are divided into atomizers of external and internal mixing depending on the place of meeting and mixing of the material with air (at the exit from the head or before the exit). Widely spread in construction are spray guns of medium pressure of external mixing such as KR-20, ZIL, KRV, 0-45, KRM, 0-37A, etc., as well as internal mixing brands KRP-2, C-592, 0-45, C-765.

Application of adhesive materials by air spraying mainly on large surfaces is carried out by spray guns such as SO-71 and KRU-1. For example, the spray gun of KRU-1 brand is designed for application of materials with viscosity not more than 50 s according to VZ-4.

Used in construction hand-held pneumatic spray guns have certain diameters of material nozzle holes and related parameters of atomizers that create a certain type of jet plume. Therefore, their selection should take into account the coarseness of filler grains and viscosity of acrylic adhesive.

The second method of applying adhesive materials to the surface of concrete is hydrodynamic or airless. In this method, adhesive materials are applied under high hydraulic pressure. Compressed air is used only to drive a pump that creates high pressure on the material applied to the surface of the structure.

Compared to the pneumatic method, the hydrodynamic method has a number of



advantages: the losses of the applied material on fogging are reduced (up to 20%); the possibility of spraying more viscous materials; the labor intensity of work is reduced due to the possibility of applying thick layers of coatings; sanitary and hygienic working conditions are improved.

The disadvantages of this method include: the difficulty of applying the method to the treatment of surfaces of structures of complex configuration; increasing losses of applied materials in the treatment of surfaces of complex configuration; limited use of the method for the application of low-viscosity adhesive materials with large easy to precipitate fillers.

In this method, the crushing of material at atomization occurs due to high pressure up to 20 MPa, created by a pump in the internal cavity of the spraying device and displacing the applied material through the nozzle opening. In this case, the potential energy of the material when it enters the atmosphere is converted into kinetic energy. With kinetic energy, the droplets move towards the surface to be coated, attracting a part of the surrounding air. Overcoming the air resistance, the droplets are slowed down and gently layered on the surface, forming a coating of a certain thickness.

Application of adhesive materials by hydrodynamic method is carried out with the help of airless spraying units (ASU). Unlike pneumatic sprayers, they have only one channel for liquid. For example, for application of adhesive materials in the heated state are used atomizers such as KRVD-10fa, and non-heated - KRB-1. The most responsible part of such an installation is the atomizing device, especially its output part - the material nozzle. Nozzles of two geometric shapes are provided at ambient temperature below 0°C:

- 1) with cylindrical channel (0.25 - 1.0 cm);
- 2) with elliptical channel (0,5 - 1,2 cm).

The units are units, the main unit of which is a discharge device - a high-pressure pump of differential or double action with a pneumatic or electric drive, a system of valves and filters, as well as with regulating and control and measuring equipment.

The unit also has a material container and a suction hose with a suction connection, a high-pressure atomizer, and a high-pressure hose connecting the atomizer



to the pump.

Depending on power, capacity and weight, the units are divided into three groups:

- 1) small-sized portable with a capacity of up to 1.0 kg/min;
- 2) medium-sized with a capacity of up to 2.0 kg/min, weighing up to 60 kg;
- 3) large-sized or stationary with a capacity of at least 5 kg/min and a mass of more than 100 kg.

Conclusions: Analytical and experimental studies have shown that for application of acrylic compositions on the surface of old concrete prepared for bonding it is possible to use manual mechanized tools such as spray guns and sprayers UBR used in the practice of construction. To choose the brand of tool it is necessary to know the viscosity of acrylic adhesive by viscometer VZ-4. Therefore, it is necessary to qualify acrylic adhesive formulations not only by their viability and curing time, but also by viscosity.

References.

1. Zolotova N.M. Advantages of using chemical anchors on acrylic compositions for fastening technological equipment / N.M. Zolotova, V.O. Sklyarov, O.Y. Suprun // Collection of scientific works of UkrDUZT, Issue 183 - Kharkiv, 2019 - P.87-95.
2. Sklyarov V.O. Short-term strength of anchor screws on modified acrylic adhesives / V.O. Sklyarov, N.M. Zolotova, O.Y. Suprun // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2019. - Vol. 708. - 6
3. Zolotova N.M., Suprun O.Y. Modern technologies for applying acrylic composition to the surface of concrete for connecting building structures Scientific and technical collection "Municipal Economy of Cities" Vol. 1 No. 175 (2023): series: technical sciences and architecture
4. Technology and organization of work on the connection of building structures with acrylic compositions: monograph // Zolotova N. M., Sklyarov V. O. Suprun O. Y. Kharkiv National University of Municipal Economy
5. Barnat J. The Shear Strength of Epoxy Adhesive Used for Chemical Anchors / J. Barnat, M. Bajer // Advanced Materials Research. – 2015. – Volume 1122. – p. 278–



281.

6. Design and calculation of steel-glue joints with concrete: a manual / S. M. Zolotov, O. M. Pustovoitova, P. M. Firsov; Kharkiv. National University of Urban Economics named after O. M. Beketov. – Kharkiv: KhNUMG named after O. M. Beketov, 2023. – 187 p.

7. Cattaneo S. Adhesive anchors in high performance concrete / S. Cattaneo, G. Muciaccia // Materials and Structures. – 2016. – Volume 49. – Issue 7. – Pp. 2689–2700.

8. Elfgren L. Anchor bolts in concrete structures / L. Elfgren, R. Eligehausen, J. G. Rots // Materials and Structures, 2001. – Volume 34. – No 242. – Pp. 451–457.

9. Gesoğlu M. Modeling and analysis of the shear capacity of adhesive anchors post-installed into uncracked concrete / M. Gesoğlu, E. M. Güneyisi, E. Güneyisi // Composites Part B : Engineering. – 2014. – Volume 60. – Issue null. – P. 716–724.

10. Pocius A. V. Adhesion and adhesives technology : An Introduction / A. V. Pocius. – 2nd ed. – Munich Hanser.



UDC 625.7/.8: 004.8

PREDICTING FROST HEAVE IN ROAD EMBANKMENTS: A MACHINE LEARNING APPROACH INTEGRATING SOIL COMPOSITION AND WEATHER

Balashova Yu.B.*c.t.s., as.prof..*

ORCID: 0000-0002-2286-9263

Balashov A.O.*student*

ORCID ID: 0009-0007-5833-0888

Ukrainian State University of Science and Technologies ESI «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005

Abstract. Frost heave in road embankments is a critical issue in cold-region geotechnical engineering, leading to surface distresses, differential settlements, and maintenance challenges. As climate patterns evolve, accurate frost heave prediction becomes increasingly essential for designing resilient pavements. This study presents an advanced Support Vector Machine (SVM) framework to predict frost heave based on comprehensive soil parameters (grain size distribution, Atterberg limits, moisture content, organic matter) and meteorological variables (air temperature, precipitation, freezing index). A multi-year dataset was compiled from laboratory tests and field instrumentation at selected cold-region sites, capturing variations in soil types and climatic conditions. The SVM model, utilizing a Radial Basis Function kernel, was optimized through grid search and ten-fold cross-validation to balance complexity and generalization. Performance metrics, including the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), and mean squared error (MSE), demonstrated a significant improvement over conventional multiple linear regression (MLR) models. The findings underscore the advantages of leveraging machine learning to capture the non-linear interplay of soil and environmental factors, ultimately guiding the design of more durable road embankments in regions prone to frost heave.

Key words: frost heave, Support Vector Machines (SVM), cold regions, soil composition, weather data, road embankments, Machine Learning (ML)

Introduction.

Frost heave is a geotechnical process where soils expand upon freezing due to the formation of ice lenses. It is particularly problematic for pavements in cold-climate regions, as it can induce longitudinal and transverse cracks, faulting at joints, and significant roughness on road pavements [1]. The critical factors controlling frost heave include soil grain size distribution, mineralogy, water availability, and thermal gradients [2].

With shifting climate patterns, freeze-thaw cycles in many regions are becoming more frequent or irregular, posing further challenges to pavement engineers [3]. Traditional empirical or semi-empirical methods, while offering initial estimates, often



lack the flexibility to adapt to site-specific complexities or variable climatic conditions [4-6]. Moreover, designing embankments resistant to frost heave often demands a holistic integration of soil properties, in-situ measurements, and weather predictions.

Recent advancements in computational modeling have paved the way for machine learning approaches to tackle geotechnical problems [7]. Among these, Support Vector Machines (SVMs) have gained attention for their ability to handle non-linear relationships and avoid overfitting through robust regularization [8]. The objective of this research is to develop a post-PhD-level framework for using SVM-based modeling to predict frost heave in road embankments. Specifically, we explore how advanced SVM configurations can integrate detailed soil characterization and meteorological parameters to yield accurate, site-specific frost heave predictions.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 provides an expanded overview of the fundamental mechanisms of frost heave and relevant predictive methods. Section 3 details data acquisition, preprocessing steps, and the theoretical foundations of SVM regression. Section 4 presents and discusses the results of hyperparameter tuning, model performance, and sensitivity analyses. Section 5 offers a deeper interpretation of the findings and contextualizes them within existing literature. Finally, Section 6 concludes the study, offering implications for future research and practical engineering applications.

Main text.

1. Background on Frost Heave and Predictive Approaches

Frost Heave Mechanisms. Frost heave occurs when subfreezing temperatures induce ice crystal growth within the pore structure of soils. Water is drawn from unfrozen zones through capillary and cryogenic suction forces, leading to the progressive development of ice lenses. Fine-grained soils, especially silts with high capillarity, are particularly susceptible [1-6]. The amount of heave depends on: (1) soil texture and structure, (2) the rate of freezing, (3) thermal gradient depth, and (4) soil-water interaction, including water table level [2].

Traditional and Emerging Predictive Methods:

1) Empirical and Semi-Empirical Methods. Early methods relied on index



parameters such as frost-susceptibility classifications based on grain size distribution and plasticity indices. Empirical correlations often link measured frost heave to a freezing index or seasonal freezing depth. While straightforward, these methods may be unreliable when site conditions or climate variables deviate from the original calibration datasets [9, 10].

2) Mechanistic Modeling. More rigorous approaches incorporate heat and mass transfer models to simulate ice lens formation [2]. These models capture thermal gradients and water migration but require extensive soil-specific parameters (e.g., thermal conductivity, hydraulic conductivity, unfrozen water content) and detailed climatic data. Calibration can be complex, and errors in parameter estimation propagate through the model.

3) Machine Learning. Machine learning methods, including Artificial Neural Networks, Random Forests, and SVMs, bypass many limitations of purely physics-based or empirical models by learning patterns directly from data. SVMs, in particular, excel in handling non-linear relationships through kernel functions and have demonstrated robustness in various geotechnical applications such as slope stability and soil classification [7]. However, successful implementation requires careful data preprocessing, parameter tuning, and validation to ensure that the model generalizes well beyond the training dataset.

2. Methodology

Data Collection and Preprocessing. A multi-year, multi-site dataset was collated from ongoing geotechnical monitoring projects in cold regions. Comprehensive laboratory and field investigations were performed on representative soil samples used in road embankment construction. Table 1 summarizes the geotechnical parameters for each soil sample.

Meteorological data were gathered from local weather stations, recording average monthly temperature, total precipitation, and a calculated freezing index (accumulated degree-days below 0°C).

Frost heave displacements were continuously recorded via extensometers and settlement plates installed at varying depths in the embankment sections. The measured



heave data were averaged to single values (in mm) per winter season for each tested location. Where sensor readings appeared inconsistent (e.g., calibration errors), they were filtered through cross-checks with nearby gauges or omitted if irreparable.

Table 1 - Representative Soil Composition Data

Sample ID	Grain Size Distribution (%)			OM Content (%)
	Sand	Silt	Clay	
S1	34.2	54.8	11.0	2.58
S2	41.6	41.1	17.3	3.12
S3	22.7	58.3	19.0	3.94
S4	48.5	29.4	22.1	2.09
S5	26.3	59.8	13.9	4.87
S6	14.8	66.7	18.5	5.96
S7	38.9	44.1	17.0	3.41
S8	53.2	31.6	15.2	2.16
S9	19.4	64.3	16.3	3.84
S10	31.5	57.2	11.3	3.62

A total of 10 soil types $\times$ 5 winter seasons $\times$ 4 replicate measurements were compiled. Each entry combined soil parameters, meteorological factors, and the measured frost heave. Numerical variables were standardized to zero mean and unit variance to facilitate model training [7]. The dataset was then randomly split into training (80%) and testing (20%) subsets, ensuring each soil category and winter season was represented proportionally.

Support Vector Machine (SVM) Formulation. Support Vector Regression (SVR) with the Radial Basis Function (RBF) kernel was used to model frost heave (y) as a function of input features $x \in R^d$ (soil and meteorological parameters). In the primal form, the objective is to minimize:

$$\min_{w,b,\xi_i,\xi_i^*} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^N (\xi_i + \xi_i^*) \quad (1)$$

$$\text{subject to} \begin{cases} y_i - w \cdot \phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ w \cdot \phi(x_i) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

where C is the penalty parameter, ε is the epsilon-tube defining the margin of tolerance, and ξ_i, ξ_i^* represent positive and negative errors, respectively. The non-



linear mapping $\phi(x)$ is implicitly handled through the RBF kernel:

$$K(x, x') = \exp(-\gamma \|x - x'\|^2), \quad (3)$$

where γ is the kernel parameter controlling the width of the Gaussian function.

Optimal hyperparameters (C, γ, ε) were selected via a grid search with ten-fold cross-validation, maximizing the R^2 on the validation folds [11]. This process systematically varied each parameter over a predefined range to identify the best combination.

Model Evaluation Metrics. To robustly assess predictive accuracy, three standard metrics were employed:

Coefficient of Determination (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

where y_i is the observed frost heave, $\hat{y}_i$ is the predicted frost heave, and $\bar{y}$ is the mean of observed frost heave.

Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (5)$$

providing an intuitive measure of average absolute deviation from observed values.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

emphasizing larger errors due to the square term.

These metrics collectively capture both the variance explained by the model and the magnitude of predictive error [7].

3. Results

Hyperparameter Tuning. The grid search explored $C \in \{1, 10, 100, 1000\}$, $\gamma \in \{0.001, 0.01, 0.1, 1\}$, and $\varepsilon \in \{0.001, 0.01, 0.1\}$. The final choice was $C = 100$, $\gamma = 0.01$, and $\varepsilon = 0.01$ based on a balance of high R^2 and low MAE across cross-validation folds. Table 2 highlights a portion of the hyperparameter search results.

Although $C = 1000$ offered a marginally higher R^2 , it showed signs of overfitting (larger variance in fold-to-fold error). Thus, $C = 100$ was chosen to maintain generalizability.



Table 2 - Selected Hyperparameter Tuning Results (Cross-Validation)

Combination	C	γ	ε	CV R^2	CV MAE (mm)
1	10	0.1	0.01	0.85	1.96
2	100	0.01	0.01	0.90	1.57
3	100	0.01	0.1	0.88	1.72
4	1000	0.01	0.01	0.91	1.51

Model Performance on Test Set. Table 3 contrasts the final SVM model with a benchmark multiple linear regression (MLR) approach, tested on the held-out 20% data.

Table 3 - Test Set Performance Comparison

Model	R^2	MAE (mm)	MSE (mm ²)
SVM (RBF)	0.905	1.43	3.19
Multiple Linear Regression	0.761	2.17	6.08

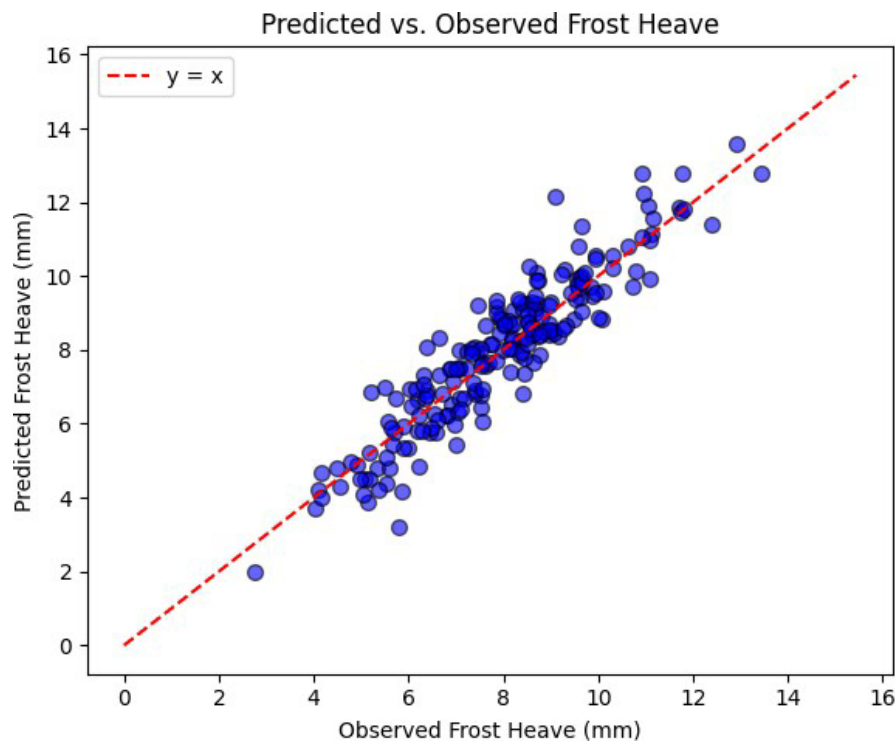


Figure 1 - Predicted vs. Observed Frost Heave for the Test Set (SVM)

The SVM showed a substantial improvement over MLR in terms of variance explained (R^2 increased by ≈ 0.14) and error metrics (MAE and MSE reduced by notable margins). Figure 1 depicts a scatter plot of observed vs. predicted frost heave for the SVM model, illustrating a close alignment with the $y = x$ reference line.



Sensitivity Analysis. A sensitivity analysis was performed to quantify the influence of each predictor on frost heave. Each input was systematically varied across its observed range while holding all other inputs at their mean values. Figure 2 shows the relative importance scores, reflecting how changes in a single variable affect the model's output.

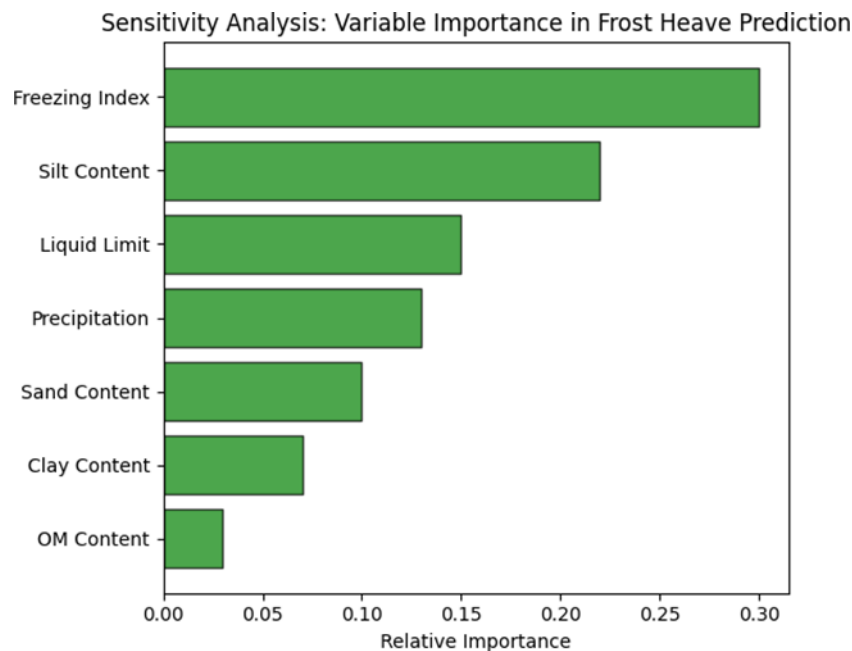


Figure 2 - Sensitivity Analysis: Relative Importance of Input Variables in Frost Heave Prediction

The freezing index exhibited the highest impact, highlighting the critical role of prolonged subfreezing conditions in driving frost heave. Silt content, liquid limit, and precipitation also showed notable effects, consistent with the well-known influence of soil capillarity and moisture on ice lens formation [2].

4. Discussion

Interpretation of SVM Performance. The SVM's superior performance over MLR underscores the non-linear interplay among soil properties (e.g., silt content, plasticity) and climatic factors (e.g., cumulative degree-days of freezing). Linear approaches struggle to capture this complexity, especially where threshold or multiplicative effects emerge (e.g., once soils exceed certain moisture or plasticity limits, frost heave may escalate disproportionately) [8].



Furthermore, the robust regularization inherent in SVM helps prevent overfitting, leading to stable generalization across varied soil-climate combinations. The grid search and cross-validation procedure were essential in identifying an optimal parameter set that balanced accuracy with model complexity.

Practical Implications for Road Embankment Design. Material Selection and Layer Configuration. By linking geotechnical and climatic factors to expected heave magnitudes, practitioners can screen prospective borrow materials more effectively. For instance, soils with lower silt fractions or stabilized soils with reduced plasticity indices can be strategically used in upper layers.

Climatic Adaptation. As freezing index and precipitation patterns shift, the predictive model allows engineers to anticipate potential increases in heave severity. This proactive approach supports the incorporation of additional protective measures such as insulation layers, drainage improvements, or specialized additives in susceptible areas.

Life-Cycle Cost Analysis. Reliable frost heave forecasts feed into life-cycle cost models, allowing agencies to estimate the economic benefits of investing in robust designs or timely maintenance. By quantifying future risks, the decision-making process is more data-driven, ultimately reducing the total cost of ownership for roadway assets.

Limitations and Future Directions. Despite promising outcomes, several limitations must be acknowledged. First, the accuracy of frost heave measurements depends on the precision and calibration of in-situ sensors. Second, while the freezing index is a valuable proxy, it may not fully capture transient freeze-thaw cycles or soil moisture changes in real time. Incorporating advanced thermal-hydraulic modeling or higher-resolution climate data could further refine predictions.

Future research could explore:

- **Ensemble Learning:** Methods like Gradient Boosted Trees or Random Forests could be compared against SVM to investigate gains in predictive performance.
- **Physics-Informed Machine Learning:** Hybrid approaches that embed physical constraints within the model architecture, ensuring consistency with established frost



heave theories.

- **Geospatial Generalization:** Large-scale studies spanning multiple geographic regions would validate model scalability, capturing broader variations in soil mineralogy, drainage conditions, and weather extremes.

5. Conclusion and Future Work

This study demonstrates a robust machine learning methodology for predicting frost heave in road embankments by integrating detailed soil characterization and meteorological variables. Key findings include:

- **Enhanced Accuracy:** The best SVM model achieved an R^2 of 0.905 on the test set, notably outperforming multiple linear regression.

- **Dominant Influence of Freezing Index:** Sensitivity analysis identified cumulative cold exposure as a primary driver of frost heave, with silt content and soil plasticity also playing significant roles.

- **Design and Maintenance Applications:** The model's predictive capability aids in material selection, layer configuration, and proactive maintenance strategies, potentially lowering life-cycle costs.

Future work should incorporate ensemble machine learning methods, higher-resolution climate inputs, and expanded datasets from diverse geoclimatic regions. Integrating mechanistic insights with data-driven techniques holds promise for refining frost heave models, ultimately guiding more resilient infrastructure in cold environments.

References:

1. Yuliia Balashova, Viktor Demianenko, Petro Sankov, Vladislav Lukianenko and Khadija Youb / New construction solutions and materials for panels of road pavements / Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture. AIP Conference Proceedings 2678, 020001 (2023); 15 February, 2023. – p. 1-7. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0118620> / <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/5.0118620>
2. Yajun Wu, Encheng Zhai, Xudong Zhang, Gang Wang, Yitian Lu / A study on



frost heave and thaw settlement of soil subjected to cyclic freeze-thaw conditions based on hydro-thermal-mechanical coupling analysis / Cold Regions Science and Technology / Volume 188, August 2021, 103296

URL: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103296>

3. Yuliia Balashova, Viktor Demianenko, Nataliia Tkach, and Hennadii Karasev / Ensuring the sustainability of the roadbeds in the zones of the underground mine works / Scopus, ISSN: 25550403, DOI: 10.1051/e3sconf/201912301041. Volume 123. – EDP Sciences, 2019. – p. 01041. – 13c. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57211522441&eid=2-s2.0-85074287353>.

4. Balashova Yu.B. Enhancing the bearing capacity of soft clay subgrades of roads by using lime and xanthan gum / Monographic series «European Science» Book INTELLECTUAL AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL OF THE XXI CENTURY: Karlsruhe, Germany. Book 33. Part 1. CHAPTER 6, 2024, P. 96-108. URL: <https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/issue/view/sge33-01/sge33-01> <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-33-00-007>

5. Ю.Б. Балашова, В.В. Дем'яненко, О.Ю. Усиченко, П.А. Тиквенко, А.О. Балашов / Підвищення несучої здатності слабких водонасичених глинистих основ земляного полотна / Науково-практичний журнал «Український журнал будівництва та архітектури», № 4 (016), 2023, Дніпро: ПДАБА, С. 7-14. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/issue/view/17138>; DOI:10.30838/J.BPSACEA.2312.290823.7.965 URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/288626/282288>

6. Yu.B. Balashova, V.V. Demianenko, A.O. Balashov / Enhancing the stability of soft soil foundations in transportation infrastructure through the application of lime and xanthan gum / SWorld-Ger Conference Proceedings, 1/ No. gec34-00 (2024): Future in the results of modern scientific research '2024 / Karlsruhe, Germany: p. 37–40. ISBN 978-3-98924-057-5. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2024-34-00> URL: <https://www.proconference.org/index.php/gec/issue/view/gec34-00> URL: <https://doi.org/10.30890/2709-1783.2024-34-00-010> (gec34-01, p. 37)



7. Nitish Puri, Harsh Deep Prasad, Ashwani Jain / Prediction of Geotechnical Parameters Using Machine Learning Techniques / Procedia Computer Science: Volume 125, 2018, Pages 509-517 /URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.066>
8. Chih-Chung Chang, Chih-Jen Lin / LIBSVM: A library for support vector machines / ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), Volume 2, Issue 3 Article No.: 27, Pages 1 – 27 /
URL: <https://doi.org/10.1145/1961189.1961199>
9. Andrii Balashov / Attention-integrated convolutional neural networks for enhanced image classification: a comprehensive theoretical and empirical analysis / International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies" ISSN 2567-5273, Issue №35, Part 2, October 2024, Karlsruhe, Germany, p. 18-27. / URL: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-35-00-030>
[http:// www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit35-00-030](http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit35-00-030)
<https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit35-02/meit35-02>
10. Andrii Balashov, Olena Ponomarova, Xiaohua Zhai / Multi-Stage Prompt Inference Attacks on Enterprise LLM Systems / <https://arxiv.org/pdf/2507.15613>
URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.15613>
11. Wengang Zhang, Hongrui Li, Liang Han, Longlong Chen, Lin Wang / Slope stability prediction using ensemble learning techniques: A case study in Yunyang County, Chongqing, China / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering / Volume 14, Issue 4, August 2022, Pages 1089-1099
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.12.011>

sent: 24.09.2025

© Balashova Yu.B.



УДК 514.12

ANALYTICAL CALCULATIONS OF CERTAIN CASES OF GEOMETRIC ARRANGEMENT OF FIRST AND SECOND ORDER LINES ON A PLANE

АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ПЕВНИХ ВИПАДКІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЛІНІЙ ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО ПОРЯДКІВ НА ПЛОЩИНІ

Vyshenska O. V. / Вишенська О.В.*s.ph. and m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-8552>*National Transport University, Kyiv, Omelyanovych-Pavlenkot., 1, 01010**Національний транспортний університет, Київ, Омеляновича-Павленка, 1, 01010***Belova M.A. / Бєлова М.О.**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0546-8094>*s.ph. and m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.**State University of Trade and Economics, Kyiv, Kyoto, 19, 02156**Державний торговельно-економічний університет, Київ, Кіото, 19, 02156*

Анотація. Геометрія, як одна з найдавніших галузей математики, завжди прагнула до систематизації та класифікації форм і їхніх взаємозв'язків. Тому вивчення ліній першого та другого порядків на площині становить фундаментальний інтерес. У даній роботі розглянуто задачу визначення ізогон параболи, тобто множини точок площини, з яких парабола спостерігається під довільним фіксованим кутом φ .

Метою дослідження було аналітичне та графічне визначення всіх типів ізогон параболи. Застосовано аналітичну та графічну геометрію. Встановлено, що крім вже відомої "внутрішньої" частини, парабола має три додаткові ізогони: саму себе, свою директрису та гілки гіпербол.

Доведено, що ці гіперболічні ізогони проходять через кожну точку площини нижче параболи (за винятком точок на директрисі) і їх розташування залежить від значення кута. Зокрема, показано, що для деяких кутів гіперболічні ізогони мають спільний фокус з параболою, тоді як для інших їхні фокуси розташовані на осі ординат. Робота підкреслює потенціал подальших досліджень взаємозв'язку між структурою ізогон та іншими геометричними властивостями кривих, а отримані результати можуть бути використані для вивчення ізогон класичних кривих.

Ключові слова: ізогони параболи, директриса, кут нахилу, дотична, лінія.

Вступ.

Лінії першого порядку, або прямі, є найпростішими геометричними об'єктами, тоді як лінії другого порядку, відомі як конічні перерізи (еліпс, парабола, гіпербола), представляють більш складні, але не менш важливі форми. Їхнє взаємне розташування може бути, як перетином, дотиком, відсутністю спільних точок, що, в свою чергу, відкриває широкі можливості для аналітичних досліджень. Це знаходить застосування як у теоретичній математиці, так і в прикладних галузях, таких як фізика, інженерія, комп'ютерна графіка тощо [3-5]. Дане дослідження присвячене огляду ключових аспектів розташування цих ліній



та останніх тенденцій у цій галузі. Надамо відповідь на питання: як розміщені у площині параболи точки, з яких її видно під довільним фіксованим кутом φ ?

Публікації в цій області присвячені розробці нових прикладів, задач та підходів, що демонструють актуальність і практичну значимість класичних концепцій [4,5]. Розрізнені дані про криві другого порядку можна знайти в довідниках, навчально-методичних посібниках і підручниках фізико-математичного та технічного спрямування [2]. Геометричний підхід до виведення канонічних рівнянь розглядається в роботах Улітіна Г.М.

Розглянемо цікаву задачу, в якій ми опишемо ізогони параболи $y = ax^2$ ($a > 0$). Відомо, що з кожної точки директриси параболи її (параболу) видно під прямим кутом.

Мета роботи полягає в знаходженні рівнянь усіх ізогон параболи і можливості дати їх аналітичну характеристику.

Новизна роботи полягає в поглибленому та систематичному аналізі ізогон параболи, виявленні нових їхніх типів та властивостей, у формулюванні нових напрямків для подальших досліджень у цій галузі геометрії.

Основний матеріал.

В роботі застосовуються аналітичні та графічні методи дослідження аналітичної геометрії. Ізогоною плоскої лінії l (чи плоскої фігури) називаємо множину всіх тих точок площини, із якої цю лінію (фігуру) l видно під однаковим кутом φ ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$). Якщо з точок даної ізогони лінію l видно під кутом φ , то цю ізогону називаємо φ –ізогоною. Наприклад, внутрішні точки круга складають 2π –ізогону кола S , що його оточує. Коло S є своєю власною π –ізогоною. Решта ізогон кола S – концентричні з ним кола більших радіусів (рисунок 1).

Зокрема, його $\frac{\pi}{2}$ –ізогоною є коло, що має радіус $r\sqrt{2}$, де r – радіус кола S .

Цілком очевидно, що для параболи $y = ax^2$ ($a > 0$) її 2π –ізогоною є область $\{(x, y) | y > ax^2\}$, а її π –ізогоною є вона сама. Останнє –наслідок диференційовності функції $y = ax^2$ та її однобічної опуклості.

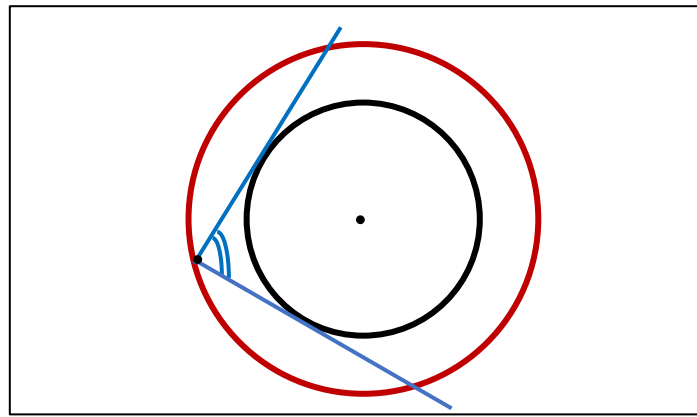


Рисунок 1 - Коло та його ізогона

Хай $M(X; Y)$ – точка, що лежить під параболою $y = ax^2$. Через неї можна провести дві дотичні до параболи (рисунок 2).

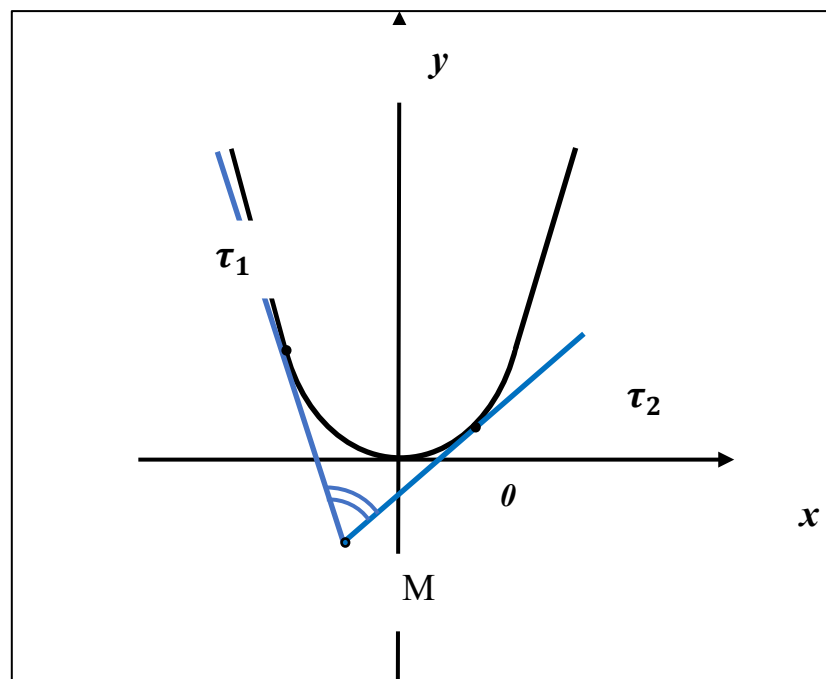


Рисунок 2 - «Вид» на параболу з точки М

Один з двох суміжних кутів, що утворюють ці дотичні, є саме тим кутом, під яким параболу видно з точки M .

Хай $(x_1; ax_1^2)$ та $(x_2; ax_2^2)$ – точки дотику названих дотичних до параболи. Вважатимемо, що $x_1 < x_2$. Із рівнянь дотичних

$$\tau_1: y = 2ax_1x - ax_1^2$$

та



$$\tau_2: y = 2ax_2x - ax_2^2$$

виражаємо координати їхньої точки перетину $M(X; Y)$ через абсциси точок дотику:

$$X = \frac{x_1+x_2}{2}, Y = ax_1x_2. \quad (1)$$

Позначивши через φ_1 і φ_2 кути нахилу дотичних τ_1 і τ_2 до додатнього напрямку осі абсцис, а через φ кут, під яким видно параболу з точки M , отримаємо [1]:

$$tg\varphi = tg(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{tg\varphi_2 - tg\varphi_1}{1 + tg\varphi_1 \cdot tg\varphi_2} = \frac{2a(x_2 - x_1)}{1 + 4a^2x_1x_2}. \quad (2)$$

Через те, що

$$x_2 - x_1 = -\sqrt{(x_2 - x_1)^2} = -\sqrt{(x_2 + x_1)^2 - 4x_1x_2} = -\frac{2}{a}\sqrt{a^2X^2 - aY},$$

а

$$x_1x_2 = \frac{Y}{a},$$

то, позначивши для зручності $tg\varphi = \mu$, отримуємо таке рівняння φ –ізогони (для $\varphi \in (0; \frac{\pi}{2}) \cup (\frac{\pi}{2}; \pi)$):

$$\mu(1 + 4aY) = -4\sqrt{a^2X^2 - aY} \quad (3)$$

Зауважимо, що для гострого кута φ ($\mu > 0$) для точок ізогони справджується нерівність

$$Y < -\frac{1}{4a},$$

для тупого кута φ ($\mu < 0$) – нерівність $Y > -\frac{1}{4a}$.

Після піднесення рівняння (3) до квадрату отримуємо рівняння гіперболи

$$-\frac{X^2}{\frac{\mu^2+1}{4a^2\mu^2}} + \frac{\left(Y + \frac{\mu^2+2}{4a\mu^2}\right)^2}{\frac{\mu^2+1}{4a^2\mu^4}} = 1. \quad (4)$$

Воно акумулює в собі два рівняння (3) для протилежних значень μ .

Цим протилежним значенням відповідають ізогони для кутів φ та $\pi - \varphi$.

Ці ізогони – різні гілки тієї самої гіперболи. Цікаво відзначити, що верхні фокуси всіх гіпербол (4) збігаються з фокусом даної параболі $(0; \frac{1}{4a})$.



Лишається зазначити, що $\frac{\pi}{2}$ -ізогону відразу вбачаємо з рівності (2). Її рівняння:

$$1 + 4aY = 0.$$

Отже, $\frac{\pi}{2}$ -ізогоною параболи є її директриса (рисунок 4).

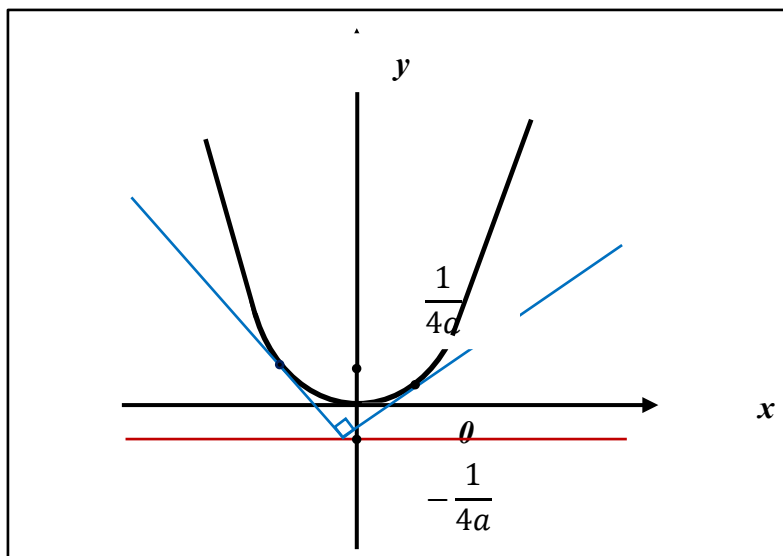


Рисунок 3 - $\frac{\pi}{2}$ ізогона параболи $y = ax^2$

Цей останній результат було доведено Коксетером Х.С.М. методами проективної геометрії. Саме це стимулювало авторів до повного дослідження питання. Отже, крім специфічної ізогони параболи $y = ax^2$ – її «внутрішньої» частини $\{(x, y) | y > ax^2\}$, парабола має ще три типи ізогон: її саму, її директрису $y = -\frac{1}{4a}$ та гілки гіпербол (3).

1. Через кожную точку площини, що лежить нижче параболи й не лежить на її директрисі, проходить одна така гілка гіперболи.

2. Якщо $\mu < 0$, то гілки гіпербол містяться між параболою та її директрисою. Усі вони мають спільний фокус, що збігається з фокусом параболи.

3. Якщо $\mu > 0$, то гілки гіпербол лежать під директрисою параболи і мають різні фокуси, які залежно від μ розташовуються в точках осі ординат на проміжку $(-\infty; -\frac{3}{4a})$.

4. Ті дві ізогони параболи, які відповідають протилежним значенням μ (тобто φ -ізогона та $(\pi - \varphi)$ -ізогона), є гілками гіперболи (4), центр якої лежить



у точці $\left(0; -\frac{\mu^2+2}{4a\mu^2}\right)$.

Розглянемо такий приклад: $y = x^2$, $\varphi = \frac{\pi}{4}$.

Тобто, з точок якої гіперболи параболу $y = x^2$ «видно» під кутом $\frac{\pi}{4}$?

Маємо, що $a = \mu = 1$. Підставимо ці значення в (4):

$$\frac{x^2}{\frac{1}{2}} - \frac{\left(y + \frac{3}{4}\right)^2}{\frac{1}{2}} = -1.$$

Фокусами цієї гіперболи є точки $F_B\left(0; \frac{1}{4}\right)$ та $F_H\left(0; -\frac{7}{4}\right)$, а її асимптотами є $y = \pm x - \frac{3}{4}$ (рисунок 4).

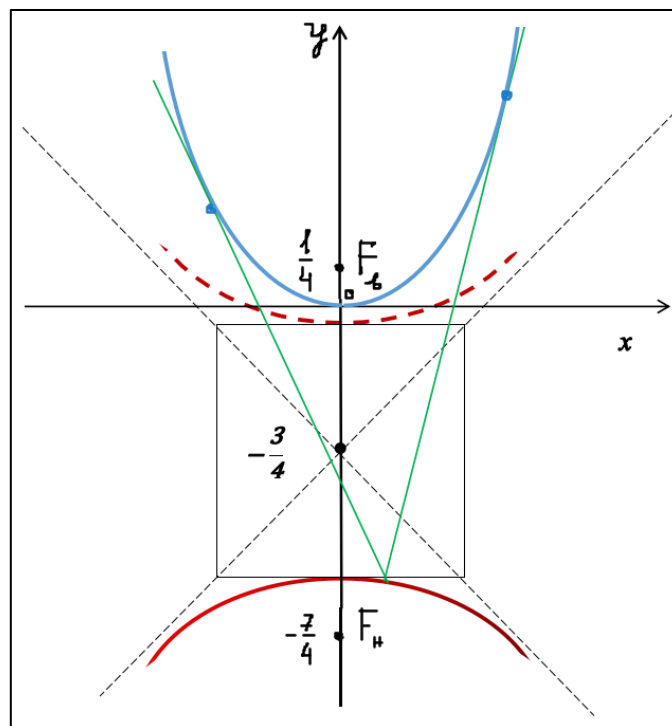


Рисунок 4 - Ізогони параболу $y = x^2$ для кута $\varphi = \frac{\pi}{4}$

Висновки.

Вивчення ізогон класичних ліній і фігур є перспективним напрямком у геометрії. Існують всі підстави очікувати нових відкриттів при пошуку взаємозв'язків між структурою ізогон та іншими, вже відомими властивостями геометричних фігур. Чудовим прикладом цього є параболу, для якої будову ізогон можна визначити, спираючись на її оптичні властивості [1, 4].



У майбутньому варто зосередитися на дослідженні ізогон таких фігур, як еліпс та арка циклоїди. Крім того, цікавим є зворотний підхід: спроба з'ясувати властивості кривої, аналізуючи її ізогони. Надалі планується ці дослідження поєднати з розробкою більш ефективних алгоритмів, інтеграцією з передовими обчислювальними методами та пошуком нових, несподіваних застосувань цих фундаментальних геометричних концепцій.

Література:

1. Вишенська О.В. Ізагони еліпса. Збірник наукових праць НТУ. – Вип.24(2) – К.: НТУ, 2011. – с.269 – 273.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2011_24%282%29_68
2. Драч, К. Д., Шугайло, О. О., Ямпольський, О. Л. Канонічна теорія кривих другого порядку. Навчально-методичний посібник. – Харків., 2020. – 39с.
http://geometry.karazin.ua/resources/documents/20200406094041_e7217d744d0.pdf
3. Моцний, Ф. В. Криві другого порядку та їх застосування в економіці. Частина II. Економічні задачі та криві другого порядку./ Науковий вісник Національної академії статистики, обліку та аудиту. – Київ, 2014, – Вип. 3. – с.77–85. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvhastat_2014_3_10
4. Стеганцев Є.В. Класифікація кривих другого порядку за їх прообразами при стереографічній проекції. Журнал «Прикладні питання математичного моделювання». – Харків, 2020. – т. 3(2.1). – с. 260-269.
<https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-1.24>
5. Селезньова Н. П., Кушлик-Дивульська О. І. Криві другого порядку. Канонічний вигляд. /Актуальні питання природничо-математичної освіти: зб. наук. праць. СДПУ.– Суми, 2023. – Вип. 2 (22). – с. 96–107.
<https://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/14673>

Abstract. Geometry, as one of the oldest branches of mathematics, has always sought to systematize and classify shapes and their relationships. Therefore, the study of lines of the first and second orders on the plane is of fundamental interest. In this paper, we consider the problem of determining the isogonies of a parabola, i.e., the set of points in the plane from which the parabola is observed at an arbitrary fixed angle.^f The aim of the study was to determine analytically and



graphically all types of isogonies of a parabola. Analytical and graphical geometry were used. It is established that, in addition to the already known "inner" part, the parabola has three additional isogons: itself, its directrix, and branches of hyperbolas.

It is proved that these hyperbolic isogons pass through every point of the plane below the parabola (except for points on the directrix) and their location depends on the angle value. In particular, it is shown that for some angles the hyperbolic isogons have a common focus with the parabola, while for others their focuses are located on the ordinate axis. The work emphasizes the potential for further research on the relationship between the structure of isogons and other geometric properties of curves, and the results obtained can be used to study isogons of classical curves.

Keywords: *parabola isogonies, directrix, angle of inclination, tangent, line.*

Стаття надіслана: 08.08.2025 р.

© Бєлова М.О.



UDC 699.88

LAMB WAVE-BASED STRUCTURAL MONITORING IN COMPOSITE LAMINATES

Pysarenko A.M.*c.ph.-m.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0001-5938-4107

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Didrihsona, 4, 65029*

Abstract. This study presents a numerical analysis of a quasi-isotropic layup, which serves as a working model for assessing the level of anisotropy in laminated composites. To achieve this, Lamb wave propagation was simulated in four distinct directions: 0° , 30° , 60° , and 90° relative to the laminate's x -axis. The primary assumption for this structural monitoring model is that the composite is quasi-isotropic throughout its entire volume. Our calculations of the dispersion curves revealed the presence of a cut-off frequency, which defines the boundaries of a non-dispersive region. Within this region, only three fundamental Lamb wave modes S_0 , A_0 , and SH_0 can exist. The velocity of the Lamb wave packets remains nearly constant in this range, with the exception of the A_0 wave near the origin. It should be noted that the level of laminate anisotropy is determined by its quasi-isotropic stacking sequence. It was found that the characteristic value of the A_0 group velocity is superimposed on fluctuations. To extract the group velocity values, the amplitude of the Lamb wave packets corresponding to the midpoint of the laminate volume was processed using the Hilbert transform. The basis for determining this velocity is the wavenumber values calculated using a reference value of the angular frequency. The results demonstrate that the proposed approach is an effective tool for analyzing and evaluating the anisotropy of composite materials.

Key words: numerical analysis, laminated composites, Lamb waves, anisotropy, dispersion curves, Hilbert transform.

Introduction.

Structural health monitoring (SHM) is a crucial area of research in materials science and engineering. It involves the use of sensing technologies to assess the condition of a structure, detecting damage, and predicting its remaining service life. A notable challenge in this field is the complexity of composite laminates, which are widely used due to their high strength-to-weight ratio and customizable properties. These materials, however, are susceptible to various forms of damage, including delamination, matrix cracking, and fiber breakage, which are often difficult to detect using traditional non-destructive testing (NDT) methods. This difficulty arises from the anisotropic nature of composites and the subtle, internal character of the damage mechanisms.

Among the various NDT techniques, guided wave propagation has emerged as a promising approach for the in-situ monitoring of large-area composite structures.



Unlike conventional ultrasonic testing, which uses bulk waves for localized inspection, guided waves can travel long distances within a structure, allowing for the interrogation of a large volume of material from a single point. This characteristic makes them particularly suitable for continuous monitoring systems. Within the family of guided waves, Lamb waves are of particular interest for SHM applications in plate-like structures, such as composite laminates. Lamb waves are elastic waves that propagate in thin plates and exhibit a complex multimodal and dispersive nature. Their propagation characteristics, including velocity and attenuation, are highly sensitive to the presence of damage.

The propagation of Lamb waves in composite laminates is a complex phenomenon governed by the material's elastic properties and lay-up configuration. The anisotropic nature of the material causes the wave velocity to vary with direction, a property that can be exploited for damage localization. Moreover, the dispersive nature of Lamb waves, where different frequencies travel at different velocities, presents both a challenge and an opportunity. While it complicates signal analysis, it also provides multiple data points for damage detection, as different modes and frequencies interact with damage in distinct ways. The presence of damage, such as delamination, introduces discontinuities in the wave path, leading to scattering, reflection, and mode conversion of the guided waves. By analyzing these changes in the wave signal, it is possible to infer the location, size, and type of damage.

The implementation of a Lamb wave-based SHM system involves several key components. The system typically consists of a network of piezoelectric transducers that act as both actuators to generate the waves and sensors to receive the propagated signals. The signals are then processed using sophisticated algorithms to extract damage-sensitive features. These algorithms often employ signal processing techniques like wavelet transforms, and data analysis methods to correlate changes in the received signal with the presence and characteristics of damage. The development of advanced signal processing and data interpretation techniques is crucial for moving from simple damage detection to more quantitative assessments, such as sizing and classification. This requires overcoming challenges related to environmental and



operational variations, which can also influence wave propagation and introduce false alarms.

Research in this area focuses on several key aspects, including the fundamental understanding of Lamb wave-damage interaction mechanisms in various composite lay-ups. This involves developing accurate numerical models to simulate wave propagation and validate experimental findings. Another important area is the development of advanced signal processing algorithms that can robustly detect and localize damage in the presence of noise and environmental variability. The design of optimized sensor networks to maximize coverage and sensitivity is also a critical consideration. Furthermore, the integration of these systems into a complete, real-time monitoring framework is a major goal, aiming to provide continuous and autonomous structural assessment. The ultimate objective is to move from reactive maintenance to a predictive, condition-based approach, enhancing the safety and reliability of critical structures. The continuous development of these techniques holds the potential to significantly improve the safety and operational efficiency of composite structures.

The goal of this study is to conduct a detailed numerical analysis of experimental data obtained during the process of Lamb wave scattering. This analysis will be used to evaluate the integrity of the laminated composite joint. We propose to use matrix analysis of the results of numerical calculations, which allows for a comprehensive assessment of the structure's condition, revealing hidden defects and predicting its durability.

Ultrasonic guided waves have proven to be an excellent experimental tool for non-destructive testing and investigation of adhesive bonds between composite laminates [1]. They provide information about the material's condition without causing damage, which is critically important for high-tech structures. The study of the transient dynamics and wave propagation characteristics in adhesive composite joints is most effective using the wavelet spectral finite element model. This method accurately models wave processes, taking into account the complex geometry and anisotropy of composite materials, and also detects subtle changes in the signal caused by the presence of defects.



Defect detection in common types of composite joints, such as T-joints and L-joints, can also be effectively performed using guided Lamb waves. These joints are frequently used in the aerospace, automotive, and shipbuilding industries, and their reliability directly affects the safety and performance of the final products. Traditional inspection methods are not always capable of revealing internal defects, such as delaminations or loss of adhesion, which can lead to catastrophic failure.

However, despite significant progress, Lamb wave-based damage monitoring technologies for local mechanical joints in composites are still not well developed. There is a pressing need for a deeper investigation into this matter to ensure reliable and accurate inspection. It is of particular interest to investigate local composite joints based on the phenomenon of Lamb wave propagation [2]. This will enable the development of new methods and algorithms for detecting defects specific to these types of structures.

Specifically, within the framework of this study, we consider it appropriate to examine two different types of local joints in a composite structure that differ in their length-to-width ratio. This approach will allow us to assess how geometric parameters influence the propagation of Lamb waves and, consequently, the effectiveness of defect detection. Such an analysis will help create more universal and reliable monitoring systems capable of working with various joint configurations. The results of our research will contribute to the development of the field of structural health monitoring and non-destructive testing, ultimately increasing the safety and longevity of composite structures.

Stress-strain and load-displacement curves technique.

Mechanical effects on the surface of the composite sample naturally lead to a change in the deformation field and, accordingly, to a change in the characteristics of the Lamb waves scattered by defects. The propagation behavior of Lamb waves in joints, especially in the region of high mechanical local joint concentrations, was analyzed using three-dimensional finite element modeling. The numerical values of the parameters in the modeling were specified using the available results of the baseline experiments.



The results of numerical calculations were accumulated in the average stress-strain and load-displacement curves of the composite laminates for different types of mechanical loading. The stress-strain and compression curves ($\sigma_n - \varepsilon_n$) along 90° , 0° and $\pm 45^\circ$ fibers of the laminar composites were calculated according to the three-point bending test. Besides, the normalized (index “n” in curves) load-displacement curves ($P_n - \delta_n$) were obtained in multimode tests.

Modes A, B and C are characterized by the following regimes: the origin of localized deformations in the form of cracks (mode A); the development of multiple cracks to their maximum geometric dimensions (mode B); the initial stage of the composite sample delamination caused by a set of developed cracks (mode C).

One of the quite effective methods for numerical modeling of the propagation of guided Lamb waves in composite laminates of arbitrary layup and cross-sectional geometry is the semi-analytical finite element method. It should be noted that the traditional finite element method in application to laminated composites is computationally expensive and may lead to numerical failure, especially in the case of short wavelengths.

The semi-analytical finite element method uses a finite element two-dimensional discretization of the cross-sectional area. The basic assumption in this model is that the displacements along the direction of propagation of the wave packet are assumed to have the form of a harmonic wave and are plane-polarized. Moreover, the typical planar geometry of laminates allows for further simplification in terms of one-dimensional modeling.

The calculation procedure considers the cross-sectional domain Ω of the laminated composite specimen, which is represented by a finite element system with domain Ω_e

$$u(x, y, z, t) = \begin{bmatrix} u_x(x, y, z, t) \\ u_y(x, y, z, t) \\ u_z(x, y, z, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x(y, z) \\ u_y(y, z) \\ u_z(y, z) \end{bmatrix} \exp[i(\xi x - \omega t)], \quad (1)$$

where ω is the angular temporal frequency.

The field of local displacements anisotropically located along the volume of the



laminated composite is assumed to be harmonic along the x - propagation direction. The characteristics of the displacement locations are described by spatial functions that are used to describe its amplitude in the y - z cross-sectional plane (1).

When using one-dimensional elements, a separate procedure was adopted for discretizing Ω . The discretized version of the displacement expressions over the element domain can be written in terms of shape functions, $N_k(y, z)$, and unknown nodal displacements, (U_{xk}, U_{yk}, U_{zk}) in the x , y , and z directions:

$$u^e(x, y, z, t) = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n N_j(y, z) U_{xj} \\ \sum_{j=1}^n N_j(y, z) U_{yj} \\ \sum_{j=1}^n N_j(y, z) U_{zj} \end{bmatrix} \exp[i\xi x - \omega t] = N(y, z) q^e \exp[i\xi x - \omega t]. \quad (2)$$

Nodal displacements can be considered as arguments of some deformation vector

$$\begin{aligned} \varepsilon^e &= \left[L_x \frac{\partial}{\partial x} + L_y \frac{\partial}{\partial y} + L_z \frac{\partial}{\partial z} \right] N(y, z) q^e \exp[i(k x - \omega t)] = \\ &= (B_1 + ikB_2) q^e \exp[i(k x - \omega t)], \end{aligned} \quad (3)$$

where

$$B_1 = L_y N_y + L_z N_z, \quad (4)$$

$$B_2 = L_x N. \quad (5)$$

At the next stage, the technique requires writing down the discrete form of the formulation of Hamilton's equation (denoting by the symbol n_{el} the total number of elements of the cross section)

$$\int_{t_1}^{t_2} \left\{ \bigcup_{e=1}^{n_{el}} \left[\int_{V_e} \delta(\varepsilon^{eT}) C_e \varepsilon^e dV_e + \int_{V_e} \delta(u^{eT}) \rho_e \ddot{u}^e dV_e \right] \right\} dt = 0, \quad (6)$$

where

C_e is the complex stiffness matrix;

ρ_e is the density.



This numerical methodology assumes that the element stiffness matrix can be calculated by integrating only over the cross-sectional area Ω_e , since integration over x reduces to a unit factor due to the complex conjugate terms $\exp [\pm i (k \cdot x - \omega t)]$. For viscoelastic materials, the strain energy consists of a real and an imaginary component. The real component of the strain energy describes the time-averaged elastic energy in the cross-section. The imaginary component of the strain energy is related to the time-averaged power dissipated by the cross-section.

Applying the standard finite element procedure to equation (6), we get

$$\int_{t_1}^{t_2} \left\{ \delta U^T \left[K_1 + ikK_2 + k^2 K_3 - \omega^2 M \right] U \right\} dt = 0, \quad (7)$$

where U is the global vector of nodal displacement and

$$K_1 = \bigcup_{e=1}^{n_{el}} k_1^e, \quad K_2 = \bigcup_{e=1}^{n_{el}} k_2^e, \quad K_3 = \bigcup_{e=1}^{n_{el}} k_3^e, \quad M = \bigcup_{e=1}^{n_{el}} m^e. \quad (8)$$

The homogeneous general wave equation has the form

$$\left[K_1 + ikK_2 + k^2 K_3 - \omega^2 M \right]_M U = 0, \quad (9)$$

where M is the number of total degrees of freedom of the system.

The stiffness matrices K_1 and K_3 in the equation are symmetric. The matrix K_2 is skew-symmetric and is related to the case where undamped motion is considered. For damped motion, all matrices K_i are usually complex. The matrix M is real symmetric and positive definite regardless of the type of motion (damped or undamped).

The matrix K_1 is related to the strain transformation matrix B_1 , which is related to generalized plane strains. It should be noted that the matrix B_1 describes the generalized plane strain behavior or transverse buckling. The matrix K_3 describes the out-of-plane strain behavior since it depends on the matrix B_2 . The matrix K_2 contains the matrices B_1 and B_2 and thus relates transverse buckling to out-of-plane strains.

Results in terms of multiple modes and dispersion properties can be obtained in a numerically stable manner using the eigenvalue and eigenvector problem. Two quadratic finite elements were used on a model example of a laminar composite containing 18 plates. Each element has three degrees of freedom per node, associated



with mechanical displacements U_x , U_y , U_z .

Figures 1 shows the dispersion curves for the phase velocities $C_p = C_p(f)$. Considering the quasi-isotropic stacking and to quantify its anisotropy level, four different Lamb wave propagation directions (0° , 30° , 60° , and 90° relative to the x-coordinate of the laminate) were simulated. The basic assumption for the structure monitoring model is quasi-isotropy throughout the volume of the laminated composite.

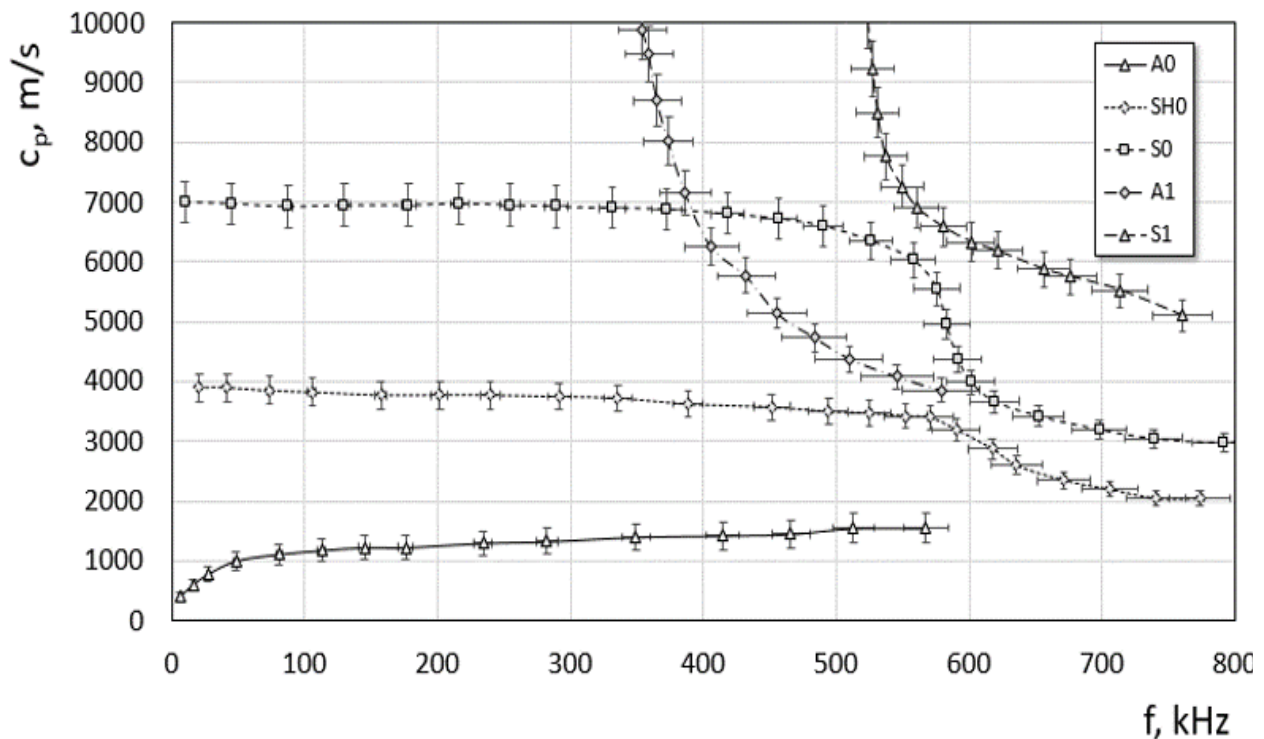


Figure 1 – Dispersion curve $c_p = c_p(f)$ for $\theta = 30^\circ$

Summary and conclusions.

The calculations of the dispersion curve revealed the presence of a so-called cutoff frequency, which delineates the non-dispersive region. In this specific region, only three fundamental Lamb wave modes S_0 , A_0 , and SH_0 are able to exist and propagate effectively. A key characteristic of this region is that the velocity of the Lamb wave packets remains nearly constant, with the notable exception of the A_0 wave close to the origin. This non-dispersive behavior is highly advantageous for structural health monitoring applications because it simplifies the interpretation of the received signals. It's important to note that the level of anisotropy in the laminate is directly determined by the specific quasi-isotropic stacking sequence used. This sequence is a fundamental



parameter that influences the mechanical and dynamic properties of the composite.

It was found that the characteristic value of the A_0 group velocity is superimposed on existing fluctuations. To accurately extract this velocity, the amplitude values of the Lamb wave packets, corresponding to the coordinate located at the midpoint of the laminate volume, were processed using a Hilbert transform.

References:

1. Putkis, O., Dalton, R. P., & Croxford, A. J. (2016). The anisotropic propagation of ultrasonic guided waves in composite materials and implications for practical applications. *Ultrasonics*, issue 65, pp. 390-399.

DOI: 10.1016/j.ultras.2014.11.013

2. Yang, C., Ye, L., Su, Z., & Bannister, M. (2006). Some aspects of numerical simulation for Lamb wave propagation in composite laminates. *Composite structures*, issue 75(1-4), pp. 267-275.

DOI: 10.1016/j.compstruct.2006.04.034

Article sent: 07.09.2025

© Pysarenko A.M.



УДК 37.091.004.9

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR THE USING OF MODERN TOOLS IN LEARNING MATHIMATICS IN THE CONTEXT OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ В УМОВАХ НУШ

Prostakova Y.S. / Простакова Ю.С.

с.р.с./к.п.н.

ORCID: 0000-0002-8955-2818

Yermolenko V.Y. / Єрмоленко В.Ю.

student / студент.

H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University,

Kharkiv, Alchevskyh Str., 29, 61002

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С.Сковороди,

Харків, вул. Алчевських, 29, 61002

Анотація. В статті розглядається використання сучасних засобів при викладанні математики в умовах Нової української школи. Розкрито актуальність інтеграції таких засобів як графічні калькулятори, інтерактивні платформи, онлайн-дошки і симулятори для підвищення ефективності навчального процесу та кращого засвоєння матеріалу учнями. Зазначено, що використання новітніх засобів при вивченні математичних дисциплін сприяє розвитку критичного мислення, забезпечує активну участь учнів в навчальному процесі і полегшує розуміння складних математичних понять.

Ключові слова: сучасні засоби навчання, цифрові інструменти, дистанційне навчання, математика, Нова українська школа.

Вступ.

Реформа НУШ закладає новий підхід до навчання школярів, реалізований зокрема через активне використання сучасних дидактичних засобів, орієнтованих на вікові особливості учнів та урахування специфіки навчального предмету. Згідно з Державним стандартом базової середньої освіти, педагогам надається свобода у виборі навчальних інструментів, відповідно до навчальної програми. Ефективність впровадження принципів Нової української школи у процесі вивчення математики в базовій школі значною мірою залежить від виваженого добору дидактичних інструментів відповідно до змісту навчального матеріалу. Ретельний аналіз засобів та методична організація освітнього процесу стає тим механізмом, який безпосередньо впливає на якість засвоєння знань та формування в учнів компетентностей, наскрізних вмінь та навичок, передбачених Державним стандартом базової середньої освіти. До сучасних



засобів, які доцільно використовувати в процесі навчання математики, можна віднести різноманітні електронні дошки, інтерактивні платформи, графічні калькулятори та програми для симуляцій.

Основний текст.

Інтеграція сучасних засобів у навчальний процес сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти та оптимізації діяльності вчителя, оскільки дозволяє зменшити часові витрати на пояснення матеріалу й організацію навчальної діяльності. Впровадження таких засобів у процес викладання математики в українських закладах загальної освіти є актуальною задачею модернізації освітнього процесу. Водночас значна кількість таких засобів потребує від педагогів додаткового часу на відбір і ґрунтовний аналіз, а також подальших досліджень щодо їхнього впливу на рівень сприйняття інформації, розвиток когнітивних здібностей учнів та підвищення ефективності освітнього процесу.

Ефективність використання засобів у базовій школі визначається низкою чинників, серед яких:

- забезпечення індивідуалізації навчання, враховуючи особисті потреби, зацікавлення та можливості кожного учнів;
- перехід від репродуктивної моделі навчання до інтерактивної, що передбачає активну участь здобувачів освіти та розвиток їх творчого потенціалу;
- реалізація практико-орієнтованого та діяльнісного підходу у навчанні;
- сформованість у педагогів достатнього рівня обізнаності сучасними засобами;
- побудова освітнього процесу на засадах партнерства, спрямованого на створення мотивуючого середовища та спільне досягнення навчальних цілей;
- розробка науково та методично обґрунтованих рекомендацій щодо відбору та практичного використання засобів на уроках, зокрема математики.

Мета статті полягає у розробці методичних рекомендацій для вчителів математики щодо застосування сучасних цифрових засобів у навчанні



математики відповідно до концепції Нової української школи.

Чимало українських та іноземних досліджень присвячено сучасним та інноваційним засобам навчання, що свідчить про їх зростаючу популярність у науковому і педагогічному середовищі. Значну кількість таких засобів складають цифрові інструменти. Інтерес цифрових засобів навчання значно посилюється в умовах вимушеного переходу до дистанційної освіти та інтенсивного поширення змішаної форми навчання. Питаннями впровадження цифрових засобів у процес вивчення математики займалися такі науковці та дослідники як В. Величко, О. Федоренко, Д. Хорішко, Т. Вертипорох, Т. Турка, А. Стьопкін, Н. Руденко, С. Антипова, О. Матяш, В. Риндюк. В їх роботах проаналізовано існуючий практичний досвід використання сучасних цифрових засобів навчання та вплив використання цифрових інструментів в освітньому процесі на якість математичної освіти у базовій школі.

Ефективність засвоєння навчального матеріалу та оптимізацію освітнього процесу з використанням ІКТ-засобів у вивченні математики підкреслюють Т. Вертипорох, Т. Турка та А. Стьопкін [2]. Науковці зазначають, що застосування цифрових інструментів створює сприятливі умови для навчальної взаємодії, забезпечує глибше розуміння змісту та підвищує мотивацію учнів. Водночас не менш вагомим у сучасному викладанні математики є використання гейміфікації, симуляцій та технологій доповненої реальності, на чому акцентують увагу В. Величко, О. Федоренко та Д. Хорішко [1]. Дослідники наголошують, що інтеграція інноваційних технологій у навчальний процес не лише сприяє візуалізації складних математичних понять, а й формує у школярів готовність до викликів цифрового суспільства.

Узагальнюючи, можна виокремити кілька основних цифрових засобів, які можуть бути успішно застосовані при вивченні математичних дисциплін із забезпеченням наочності, оптимізації та індивідуалізації навчального процесу, зокрема інтерактивні дошки, інтерактивні платформи, графічні калькулятори та симуляції. Розглянемо їх більш детально.

Інтерактивні дошки. Забезпечують спільну робочу площину для вчителя та



учнів, де можна у реальному часі коментувати, редагувати та нотувати рішення, імітуючи роботу в класі. Наприклад, Padlet надає можливість створювати текстові нотатки, завантажувати файли, додавати гіперпосилання, робити миттєві фото, записувати та розмішувати відео й аудіо повідомлення, а також проводити опитування. Gynzy, окрім базових функцій, пропонує вбудовані ігри, діаграми й графіки, а також набір математичних інструментів (лінійка, транспорир, циркуль), таймери та рандомайзери. Інструмент Canva забезпечує швидку візуалізацію ідей, дає змогу створювати схеми, діаграми та інші графічні матеріали, а також легко експортувати й поширювати готові проекти у різних форматах. Інтерактивні дошки, окрім пояснення матеріалу, можуть бути використані для представлення спільних ідей учнів в груповій роботі, організації проектної діяльності, а також для створення схем і алгоритмів.

Таким чином, інтерактивні дошки можна рекомендувати для організації такої діяльності учнів на уроках математики: Padlet для збору учнівських відповідей, прикладів задач, ідей до теми; Gynzy для виконання учнями інтерактивних вправ з геометрії, дій з раціональними числами, завдань, які потребують використання координатної площини та інших креслень; Canva для створення інфографіки, постерів з математичними правилами, оформлення проектів.

Інтерактивні платформи. Програми, які допомагають учням вивчати математику через наочність та активну взаємодію. Ігрові платформи, як Kahoot!, LearningApps, Quizizz та Word Wall, вже довели свою ефективність і користуються популярністю серед учнів та педагогів. Вказані сервіси дозволяють вчителям створювати інтерактивні ігри (вікторини, головоломки, тести). Учні віддають перевагу такому формату, оскільки він надає миттєвий зворотний зв'язок, мотивує до повторних спроб і підвищує зацікавленість у порівнянні з традиційними методами. Навчальні платформи ВШО та Khan Academy є ефективними інструментами для самостійного опрацювання матеріалу з математики, оскільки містять відео уроки, інтерактивні вправи та тести для перевірки знань. ВШО повністю відповідає Державному стандарту базової



середньої освіти України та надає педагогам функціонал для створення власних навчальних курсів або адаптації існуючих матеріалів. Вчителі можуть використовувати ВШО як основний ресурс, а матеріали Khan Academy — як додатковий інструмент для диференційованого навчання. Ігрові платформи доцільно використовувати для закріплення навчального матеріалу, диференціації освітнього процесу, підвищення мотивації за умови оптимального використання. Навчальні платформи ефективні для організації індивідуальної роботи, подолання освітніх втрат та оцінювання.

Таким чином, платформу LearningApps можемо рекомендувати для тренування навичок учнів виконувати дії чи відпрацьовувати алгоритми розв'язування задач (наприклад, сортування формул, встановлення відповідності графіків і рівнянь, рівнянь і коренів і т.ін), платформа Quizizz краще підійде для формувального оцінювання з елементами гейміфікації, платформу ВШО найдоцільніше використовувати як джерело відеоуроків та інтерактивних завдань українською мовою, платформа Khan Academy найкраще підійде для самостійного опрацювання учнями окремих тем з математики, а також для проведення інтегрованих або бінарних уроків, оскільки містить багато корисних матеріалів англійською мовою. Наприклад, при вивченні теми «Квадратні рівняння» учням можна запропонувати переглянути відео на платформі ВШО, потім провести тестування у Quizizz з поясненням правильних відповідей, а потім переглянути відео з Khan Academy для закріплення вивченого.

Графічні калькулятори. Засоби візуалізації математичних залежностей і розрахунків. Зокрема, Desmos та Mathway призначені для побудови графіків функцій та виконання складних обчислень, є зручним інструментом при вивченні тригонометрії і математичного аналізу. GeoGebra використовується для вивчення планіметрії та стереометрії, оскільки дає можливість створювати 2D і 3D-об'єкти, що допомагає розвивати просторове мислення, краще розуміти властивості геометричних фігур. Отже, мета графічних калькуляторів: візуалізації даних, проведення досліджень, аналіз складних розрахунків та розвиток абстрактного мислення та дослідницьких навичок.



Отже, графічний калькулятор Desmos може бути вдало використаний для дослідження властивостей функцій, елементарних перетворень графіків функцій, для демонстрації впливу параметрів на графік функції і відповідно для графічного розв'язування рівнянь та нерівностей, в тому числі з параметрами. Учні можуть самостійно виконувати інтерактивні завдання, де можна змінювати коефіцієнти у алгебраїчних виразах, спостерігати за результатами таких змін та формулювати висновки. Наприклад, учні можуть досліджувати, як змінюється графік квадратичної функції при зміні коефіцієнта «а» з подальшим формулюванням власних висновків.

Симуляції. Цифрові моделі реальних процесів, які дозволяють учням експериментувати з параметрами та спостерігати за результатами. Платформа PhET дає можливість візуалізувати тему дробів, моделювати розв'язання рівнянь і нерівностей на основі фізичних процесів, досліджувати зміну параметрів під час вивчення функцій, а також наочно демонструвати операції з векторами. Симуляції у вивченні математики можна використовувати для візуального представлення складних тем, проведення експериментів, розв'язання прикладних задач з метою глибшого розуміння матеріалу і практичного застосування теорії.

Можна рекомендувати використовувати симуляції на уроках математики для пояснення та візуалізації прикладних задач (наприклад, рух тіла по траєкторії – для теми «Функції»), а також для ілюстрації міжпредметних зв'язків і бінарних уроків (наприклад фізика і математика). Наприклад, учні можуть змодельовати рух тіла, записати координати і побудувати відповідний графік залежності шляху від часу чи швидкості від часу.

Також при використанні сучасних цифрових та інтерактивних засобів навчання в процесі вивчення математики варто дотримуватися таких правил: починати з одного інструменту, поступово розширюючи арсенал; створювати для учнів шаблони або конспекти, де прописана послідовність дій учня та очікувані результати – це допомагає формувати в учнів навички самостійної роботи; залучати учнів до створення банку інтерактивних засобів – вкладання власних зусиль і отримане визнання підвищує мотивацію учнів до навчання;



використовуйте сучасні цифрові засоби для формувального оцінювання, самооцінки, рефлексії.

Висновки.

В нашій статті були розглянуті сучасні засоби для підвищення ефективності викладання математичних дисциплін в базовій школі. Аналізуючи викладене, зазначимо, що застосування інноваційних засобів при навчанні математики сприяє реалізації ключових завдань Нової української школи:

- 1) формування компетентностей, визначених Державним стандартом базової середньої освіти, серед яких мовленнєва, інформаційно-комунікаційна, математична, соціальна, підприємницька;
- 2) сприяє ефективному застосуванню диференційованого навчання з урахування різних рівнів пізнавальної діяльності та індивідуальних особливостей сприйняття учнів;
- 3) створює умови для професійного зростання педагогів, розширює їхню педагогічну свободу, сприяє творчому пошуку та безперервному навчанню, а також залучає до процесу модернізації змісту освіти.

Застосування сучасних цифрових засобів у вивченні математики не лише забезпечує наочність математичних понять, а й сприяє розвитку вміння адаптуватися до динамічних змін суспільства, креативності, творчості, стимулює до самоорганізації і пізнавальної діяльності. Способи організації навчання з використанням сучасних цифрових засобів відповідає принципам особистісно орієнтованого й практично спрямованого навчання, визначених концепцією НУШ.

Перспективним напрямком подальших досліджень для розробки практичних рекомендацій може бути розробка україномовного методичного наповнення сучасних навчальних інтерактивних платформ та інструментів для більш активного і ефективного використання сучасних засобів навчання в процесі вивчення математики в базовій школі.



Література:

1. Величко В.Є., Федоренко О.Г., Хорішко Д.С. Інноваційні технології навчання на уроках математики. Збірник наукових праць фізико-математичного факультету ДДПУ. 2024. Вип. 14. С. 89 – 96. URL: <https://doi.org/10.31865/2413-26672415-3079142024311451>
2. Вертипорох, Т., Турка, Т., Стьопкін, А. Методика викладання функцій в шкільному курсі математики за допомогою інформаційно комунікаційних технологій. Технології електронного навчання. 2024. Вип. 8. С. 51–60. <https://doi.org/10.31865/2709-840082024316947>
3. Матяш О., Риндюк В. Навчання математики з використанням цифрових навчальних платформ: аналіз закордонного досвіду. Фізико-математична освіта, 2023. Том 38. №3. С. 43-49. DOI: <https://doi.org/10.31652/3041-2277-2024-1-72-80>
4. Руденко Н. М., Антипова С. О. Застосування інтерактивних технологій та ІКТ на уроках математики в закладах загальної середньої освіти. Молодий вчений, 2021. № 89 (1). С. 271 –276.
5. Інноваційна педагогіка : навч.-метод. посіб. / О. І. Башкір, С. Т. Золотухіна, О. В. Попова та ін. ; Харків. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди. Київ : Інтерсервіс, 2025. 233 с. : іл., табл.
6. Турка, Т.В., Вертипорох, Т.О. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у вивченні шкільного курсу математики. Технології електронного навчання, 2023. Вип. 7. С. 48–53. <https://doi.org/10.31865/2709-840072023292878>.

Abstract. The article discusses the using of modern tools in teaching mathematics in the context of the New Ukrainian School. It reveals the relevance of digital tools, such as graphic calculators, interactive platforms, online whiteboards, and simulators, to improve the effectiveness of the learning process and enhance students' understanding of the material. The results of the researching show that the use of the latest tools in the study of mathematical disciplines contributes to the development of critical thinking, ensures the active participation of students in the learning process, and facilitates the understanding of complex mathematical concepts

Key words: modern learning tools, digital tools, distance learning, mathematics, New Ukrainian School.



УДК 519.6:53:656.2

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF RAILWAY TRANSPORT THROUGH PHYSICAL AND MATHEMATICAL METHODS

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ

Kotvytska K.A. / Котвицька К.А*PhD, Associate Professor / к.ф.-м.н., доцент**ORCID: 0000-0001-6629-5102***Yerochin Ya. D. / Єрохін Я. Д***Student Faculty of Mechanical and Energy Engineering/**студент, Механіко-енергетичний факультет**Ukrainian State University of Railway Transport,**Ukraine, Kharkiv, Feuerbach Square 7, 61050**Український державний університет залізничного транспорту,**Україна, Харків, майдан Фейєрбаха 7, 61050*

Анотація. У статті розглянуто сучасні підходи до підвищення енергоефективності залізничного транспорту на основі фізичних та математичних методів. Проаналізовано принципи рекуперативного гальмування, удосконалення аеродинамічних характеристик рухомого складу, використання легких конструкційних матеріалів та застосування математичного моделювання для оптимізації енергоспоживання. Особливу увагу приділено оцінці ефективності впровадження цифрових технологій управління рухом поїздів та систем автоматизації. Метою дослідження є обґрунтування інноваційних рішень, спрямованих на зменшення енергетичних витрат, підвищення економічної та екологічної стійкості залізничного транспорту. Представлено основні результати моделювання та практичні рекомендації щодо впровадження енергоефективних технологій.

Ключові слова: енергоефективність, залізничний транспорт, рекуперативне гальмування, аеродинаміка, математичне моделювання.

Вступ.

Сучасний залізничний транспорт потребує впровадження новітніх технологій, що дозволяють знизити енергоспоживання та підвищити екологічність перевезень. Глобальна енергетична криза та необхідність скорочення викидів парникових газів стимулюють транспортну галузь шукати інноваційні рішення для оптимізації використання енергії [1].

Застосування фізичних і математичних методів у моделюванні руху поїздів і розрахунку енергоспоживання відкриває нові можливості для оптимізації транспортних процесів [1, 3]. Особливо актуальним є вивчення рекуперативного гальмування [4, 7], аеродинамічних характеристик рухомого складу [2, 3] та впливу цифрових систем управління на ефективність використання енергії [5, 6].

В роботі виконано розрахунок енергоспоживання електропоїзда з



урахуванням основних факторів опору та втрат, а також розглянуто можливості застосування сучасних енергозберігаючих технологій у залізничному транспорті.

Основний текст

Методика досліджень.

Для дослідження застосовано методи аналізу наукової літератури, системного підходу, математичного моделювання та узагальнення. Теоретичною основою слугують закони класичної механіки та рівняння поступального руху [1], принципи аеродинаміки [2], формули розрахунку енерговитрат та алгоритми оптимізації [3].

Сумарна сила опору руху поїзда визначається за формулою

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{тертя}} + F_{\text{аеро}} + F_{\text{грав}}, \quad (1)$$

де

$$F_{\text{тертя}} = \mu mg, \quad F_{\text{аеро}} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2, \quad (2, 3)$$

де μ - коефіцієнт тертя, m - маса потяга, $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ - густина повітря, $C_d=0,3$ - коефіцієнт лобового опору, $A = 10 \text{ м}^2$ - площа лобової проекції поїзда.

Загальне енергоспоживання визначається формулою:

$$E = F_{\text{заг}} \cdot s \quad (4)$$

де s – довжина ділянки без втрат і рекуперації.

Модель враховує вплив рекуперативного гальмування [4, 7], цифрових систем управління [5, 6] та аеродинамічної оптимізації [2, 3].

Розрахунки та результати.

Розрахунки проведені для електропоїзда масою $m = 200 \text{ т}$, при швидкості $v = 90 \text{ км/год}$ на рівній ділянці ($\alpha = 0$) [3]. Для оцінки загального енергоспоживання електропоїзда обрано маршрут Харків – Ізюм. Відстань між цими містами складає 123 км, яку використано для розрахунку сумарної енергії поїзда на даному маршруті.

Енерговитрати на 10 км шляху визначаються як:

$$E_{\text{реал}} = F_{\text{заг}} \cdot s^* \quad (5)$$



де s^* – ефективна довжина ділянки з урахуванням технологічних втрат (20%) та рекуперації (30%)

Для розрахунку реального енергоспоживання електропоїзда на маршруті Харків – Ізюм використовували формулу

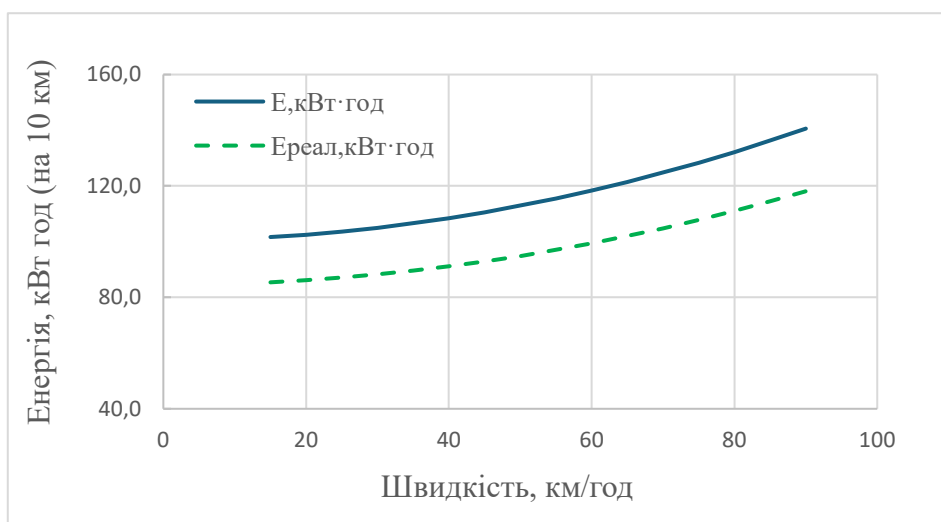
$$E_{\text{реал}} = F_{\text{заг}} \cdot s \cdot 0,84, \quad (6)$$

де $s = 123$ км – відстань маршруту Харків – Ізюм. Множник 0,84 враховує 20% технологічних втрат та 30% рекуперації енергії. Результати обчислень наведено у таблиці 1, де показано енергоспоживання електропоїзда для різних швидкостей.

Таблиця 1 - Розраховане енергоспоживання електропоїзда залежно від швидкості руху

v , км/год	v , м/с	$F_{\text{тр}}$, Н	$F_{\text{аеро}}$, Н	F , Н	E , кВт·год	$E_{\text{реал}}$, кВт·год
15	4,17	2943	32,55	2975,55	101,665	85,398
20	5,56	2943	57,87	3000,87	102,530	86,125
25	6,94	2943	90,42	3033,42	103,642	87,059
30	8,33	2943	130,21	3073,21	105,001	88,201
35	9,72	2943	177,23	3120,23	106,608	89,551
40	11,11	2943	231,48	3174,48	108,461	91,108
45	12,50	2943	292,97	3235,97	110,562	92,872
50	13,89	2943	361,69	3304,69	112,910	94,845
55	15,28	2943	437,64	3380,64	115,505	97,025
60	16,67	2943	520,83	3463,83	118,348	99,412
65	18,06	2943	611,26	3554,26	121,437	102,007
70	19,44	2943	708,91	3651,91	124,774	104,810
75	20,83	2943	813,80	3756,80	128,357	107,820
80	22,22	2943	925,93	3868,93	132,188	111,038
85	23,61	2943	1045,28	3988,28	136,266	114,464
90	25,00	2943	1171,88	4114,88	140,592	118,097

На рисунку 1 відображено дані таблиці 1, що дозволяє наочно оцінити основні тенденції енергоспоживання електропоїзда на маршруті Харків – Ізюм. Синя крива відповідає ідеальному енергоспоживанню без врахування технологічних втрат і рекуперації, тоді як зелена пунктирна крива показує реальне енергоспоживання з урахуванням 20% втрат та 30% рекуперації [3, 7].



Рисунк 1. - Залежність енергоспоживання електропоїзда від швидкості руху.

Аналіз даних, представлених на графіку, дозволяє виділити кілька ключових закономірностей:

1. Із підвищенням швидкості енергоспоживання зростає нелінійно, що узгоджується з квадратичною залежністю сили аеродинамічного опору від швидкості руху.

2. Відмінність між ідеальною та реальною кривими пояснюється втратами енергії (близько 20%) та частковою компенсацією завдяки рекуперативному гальмуванню (приблизно 30%)

3. Найбільш енергоефективним є рух у нижньому та середньому діапазонах швидкостей, де вплив аеродинамічного опору та втрат системи ще не є визначальним.

Обговорення результатів.

Отримані результати підтверджують, що зі зростанням швидкості енергоспоживання збільшується нелінійно. Зокрема, при швидкості близько 90 км/год витрати енергії на подолання 10 км становлять орієнтовно 130 кВт·год, що узгоджується з розрахунками та літературними даними щодо сучасних електропоїздів [3]. Це свідчить про коректність застосованої моделі та створює підґрунтя для подальшого вдосконалення оцінки ефективності руху в різних експлуатаційних режимах.



Використання фізичних моделей опору руху в поєднанні з математичним моделюванням дозволяє точно оцінити споживання енергії поїзда на конкретних маршрутах [1, 3]. Застосування рекуперативного гальмування [3, 7], покращення аеродинамічних характеристик [2, 4] та впровадження цифрових систем управління рухом [5, 7] забезпечують суттєве зниження витрат енергії, що сприяє сталому розвитку транспортної галузі України

Міжнародна практика підтверджує ефективність цих заходів: високошвидкісні поїзди Shinkansen, ICE та TGV демонструють економію енергії на рівні 15–30% завдяки поєднанню рекуперативного гальмування, аеродинамічної оптимізації та використанню легких конструкційних матеріалів [4, 6, 7].

Висновки.

Проведене дослідження підтверджує доцільність упровадження фізико-математичних методів в оцінюванні енергоефективності залізничного транспорту. Запропонована розрахункова модель дає змогу кількісно визначити вплив різних чинників на загальне енергоспоживання. Отримані результати засвідчують ефективність аеродинамічних удосконалень, використання легких матеріалів, цифрових систем керування рухом і технологій рекуперації енергії. Представлена методика може бути рекомендована для подальшого застосування у транспортному моделюванні та енергетичному плануванні.

Література:

1. Іваненко П.І., Петров С.В. Фізико-математичні методи аналізу руху поїздів. – К.: Транспорт, 2020. – 245 с.
2. Сидоренко М.А. Аеродинаміка рухомого складу залізничного транспорту. – Л.: Наука, 2019. – 198 с.
3. Novak R. Optimization of High-Speed Train Energy Consumption. – Prague: Czech Technical University, 2018. – 150 p.
4. Tanaka K., Sato Y. Regenerative Braking in Japanese Shinkansen. – Tokyo: Transport Research Institute, 2022. – 180 p.



5. Zhang Y., Li J. Digital Control Systems for Railway Transport. – London: Routledge, 2020. – 210 p.
6. Brown A., Green P. Intelligent Train Operation: Energy Efficiency and Safety. – New York: Wiley, 2019. – 275 p.
7. Schmidt H., Müller T. Energy Recovery in Modern Railway Systems. – Berlin: Springer, 2021. – 312 p.

Abstract. *The article examines modern approaches to improving the energy efficiency of railway transport using physical and mathematical methods. The principles of regenerative braking, improvement of the aerodynamic characteristics of rolling stock, use of lightweight structural materials, and the application of mathematical modeling for optimizing energy consumption are analyzed. Special attention is given to the assessment of the effectiveness of implementing digital train control technologies and automation systems. The aim of the study is to substantiate innovative solutions aimed at reducing energy consumption and enhancing the economic and environmental sustainability of railway transport. The main modeling results and practical recommendations for the implementation of energy-efficient technologies are presented.*

Keywords: *energy efficiency, railway transport, regenerative braking, aerodynamics, mathematical modeling.*



УДК 543.544:615.9

DETERMINATION OF SILVER CITRATE IN DIETARY SUPPLEMENTS BY SORPTION-ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY

ВИЗНАЧЕННЯ АРГЕНТУМ ЦИТРАТУ В ДІЄТИЧНИХ ДОБАВКАХ МЕТОДОМ СОРБЦІЙНО-АТОМНО-АБСОРБЦІЙНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ

Zaitseva G.M./ Зайцева Г. М.*c.ch.s., as.prof. / к.хім.н., доц.*

ORCID 0000-0003-3138-6324

Pushkareva Ya.M./ Пушкарёва Я. М.*c.ch.s., as.prof. / к.хім.н., доц.*

ORCID 0000-0001-9856-7846

Popenko A.O./ Попенко А. О.*student / студентка**Bogomolets National Medical University, Shevchenko Bul., 13., 01601**НМУ імені О.О.Богомольця, бульвар Шевченка, 13, 01601*

Анотація. Аргентум (срібло) – мікроелемент із вираженими антимікробними, протигрибковими та регенеративними властивостями, що використовується в медицині й фармації у йонній (Ag^+) та колоїдній формах. Особливу увагу нині привертає аргентум цитрат як компонент дієтичних добавок. Проте визначення низьких концентрацій Ag^+ у складних матрицях є складним аналітичним завданням. У роботі запропоновано метод кількісного визначення аргентум цитрату, що ґрунтується на сорбції Ag^+ кремнеземом з пропілтіоетиламіновими групами (NetS-SiO_2), подальшому елююванні тіосечовиною та вимірюванні за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС). Метод валідовано за лінійністю ($R^2 = 0,9945$), точністю, збіжністю та відтворюваністю ($\text{RSD} < 1\%$). Досягнуто $>99\%$ вилучення, що робить підхід придатним для рутинного контролю якості дієтичних добавок із вмістом аргентум цитрату.

Ключові слова: аргентум цитрат, дієтичні добавки, сорбція, хімічно модифікований кремнезем, атомно-абсорбційна спектроскопія.

Вступ

Срібло (Аргентум) бере участь у регуляції функцій мозку, печінки, ендокринної системи та опорно-рухового апарату [1], Йони аргентуму (Ag^+) проявляють виражені окиснювальні та бактерицидні властивості, перевершуючи традиційні антисептики, зокрема фенол. Важливо, що срібло діє селективно, пригнічуючи патогенні мікроорганізми без істотного впливу на корисну мікрофлору, включаючи лактобактерії та біфідобактерії [2].

Історично застосування солей аргентуму (нітрату, колоїдного срібла) було поширеним у медицині до середини ХХ ст. [3]. Нині головну увагу зосереджено на аргентум цитраті— водорозчинній координаційній сполуці, яка поєднує антимікробну активність, стабільність та відносно низьку токсичність [4].



Водночас надмірне надходження срібла може спричинити токсичні ефекти, зокрема аргірію [5], що обумовлює необхідність точного кількісного контролю його вмісту.

Класичні фармакопейні методи забезпечують надійне визначення Ag^+ , але мають обмеження щодо чутливості та впливу матричних компонентів [6]. Сорбційні методи у поєднанні з атомно-абсорбційною спектроскопією (ААС) дають змогу попередньо сконцентрувати аналіт, підвищити селективність і знизити межу виявлення [7–8]. Перспективним є застосування кремнезему, модифікованого S,N-вмісними групами, як ефективного твердого екстрагента [8–10].

Мета дослідження полягала у розробці методу кількісного визначення аргентуму цитрату у дієтичних добавках із використанням твердофазної екстракції на модифікованому кремнеземі з подальшим визначенням вмісту Ag^+ методом ААС.

Об'єктом дослідження обрано зразок дієтичної добавки, що містить 1,95 мг аргентуму цитрату та 50 мг лимонної кислоти у 100 мл розчину.

Стандартний розчин аргентуму цитрату (1мг/мл) готували шляхом розчинення точної наважки (NanoSvit Organic Products, Україна). Розчини меншої концентрації отримували розведенням. Розчини HNO_3 та NaOH (0,1 моль/л) готували зі стандарт-титрів. Розчин тіосечовини (10%) — розчиненням точної наважки кристалічної речовини у воді.

Сорбційно-десорбційні процеси досліджували шляхом контакту 0,05 г NetS-SiO_2 з 25 мл модельного розчину аргентуму цитрату ($1 \cdot 10^{-4}$ моль/л) у діапазоні рН 1–8 впродовж 5–20 хв. Після сорбції тверду фазу відокремлювали фільтруванням і проводили десорбцію 5 мл 10% тіосечовини. Вміст Ag^+ у фазі сорбенту розраховували за різницею між вихідною та рівноважною концентраціями. Концентрацію Ag^+ у розчинах та елюаті визначали методом ААС (спектрофотометр "Сатурн", $\lambda=328,1$ нм, пропан-бутан-повітряне полум'я, джерело світла - лампа полого катоду на срібло).

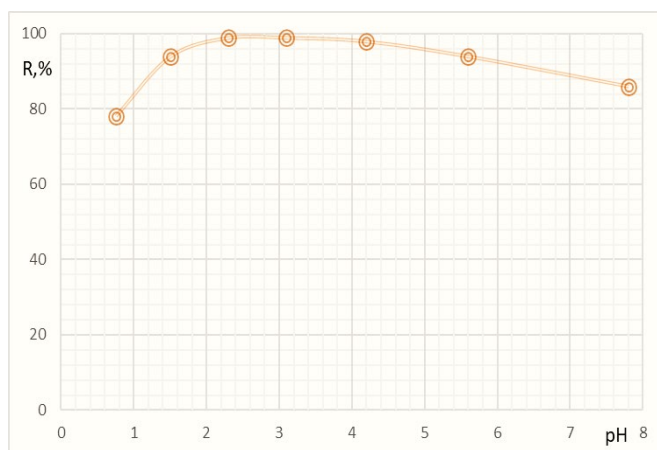


Метод оцінювали за параметрами лінійності, правильності, та відтворюваності відповідно до вимог ДФУ [6]. Для оцінки збіжності результатів використовували нерівність Пірсона [11].

Результати та їх обговорення

Одним із ключових етапів при розробці методики сорбційного вилучення мікроелементів є правильний вибір твердофазного екстрагента. Спираючись на результати попередніх наукових досліджень [7-10,12], було обрано кремнезем, поверхня якого модифікована закріпленими функціональними групами пропілтіоетиламіну (NetS–SiO₂) [12]. NetS–SiO₂ здатний ефективно взаємодіяти з більшістю мікроелементів за умови pH > 4,0 [13], водночас Ag⁺ сорбується у більш кислому середовищі [12].

Результати дослідження ефективності сорбенту щодо вилучення Ag⁺ з розчину аргентум цитрату показали, що при зміні pH розчину від 1 до 8 ступінь вилучення досягає максимальних значень при pH 2-4 (рисунок).



Авторська розробка

Рисунок. Залежність ступеня вилучення R, % від pH розчину:
сорбент NetS–SiO₂. m_c = 0.05г, V = 25 мл, C(аргентум цитрату) = 1·10⁻⁴
моль/л, τ = 15 хв.

У результаті дослідження впливу часу контакту фаз на ступінь вилучення встановлено, що сорбційна рівновага встановлюється за 10 хв (Таблиця 1).



Таблиця 1. Результати визначення вмісту Ag^+ у фазі сорбенту NetS– SiO_2 та в елюенті після десорбції у залежності від часу контакту фаз: $m_c=0.05\text{г}$, $\text{pH}=4.1$, $V=25\text{ мл}$, $C(\text{аргентум цитрату})=1\cdot 10^{-4}\text{ моль/л}$, $V(10\%\text{тіосечовини})=5\text{мл}$.

Тривалість контакту фаз, хв	$C(\text{Ag}^+)$ у фазі сорбенту, $\text{моль/л}\cdot 10^{-5}$	Ступінь вилучення, $R\%$	$C(\text{Ag}^+)$ в елюаті, $\text{моль/л}\cdot 10^{-5}$	Ступінь елюювання, $E, \%$
5	9,15	91,54	8,91	97,38
10	9.93	99,32	9,86	99,25
15	9,95	99,51	9,88	99,29
20	9.96	99,56	9,89	99,36

Авторська розробка

Дані таблиці 1 демонструють, що ступінь елюювання складає 99% при контакті фаз 10-20 хв і свідчать про кількісну десорбцію Ag^+ .

Отримані нами результати та набуті раніше [12,13] дозволили розробити методику визначення Ag^+ у дістичній добавці.

Методика аналізу.

Для аналізу 0,20 мл зразка вміщують у мірну колбу на 25 мл, додають 10 мл дистильованої води, додають 2мл розчину 0.1 моль/л NaOH та доводять об'єм водою до позначки. Розчин перемішують і контактують з 0,05 г сорбента NetS– SiO_2 . Суспензію впродовж 10-15 хв періодично перемішують, тверду фазу відділяють фільтруванням і промивають дистильованою водою. Десорбцію катіонів Ag^+ проводять 5,0 мл 10% розчину тіосечовини при перемішуванні впродовж 20 хв. Отриманий елюат аналізують на вміст Ag^+ методом ААС. Паралельно проводять через процедуру аналізу холостий дослід.

Кількісний вміст Ag^+ у елюаті визначали за градуовальним графіком $y = 57,029x + 2,581$ (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9945$). Метрологічні параметри градуовального графіка з довірчими інтервалами для коефіцієнта a : $2,381 \pm 8,913$ та для коефіцієнта b : $57,029 \pm 5,888$, відповідають вимогам ДФУ, тому методику



можна вважати лінійною [6,11].

Результати визначення вмісту аргентум цитрату у зразку дієтичної добавки наведено у Таблиці 2. Дослідження повторювали через певний проміжок часу (24-25 год).

Таблиця 2. Результати визначення вмісту аргентум цитрату у зразку дієтичної добавки: $m(\text{NetS-SiO}_2) = 0,05$ г; V (розчину) = 25 мл, pH 4, $\tau = 10$ хв, $n=5$, $P=0.95$, метод визначення - ААС.

Параметри	Вимір 1	Вимір 2
	Концентрація аргентум цитрату, мг,	
Паралель 1	1,965	1,942
Паралель 2	1,956	1,954
Паралель 3	1,949	1,929
Паралель 4	1,972	1,936
Середнє значення	1,961	1,940
Об'єднане середнє	1,951	
Відносне стандартне відхилення (%)	0,827	
Відносний довірчий інтервал (%)	1,955	
Критичне значення для збіжності результатів, %	2,0	

Авторська розробка

Аналіз даних, наведених у Таблиці 2, свідчить про кореляцію результатів визначення із задекларованим вмістом аргентум цитрату у зразку дієтичної добавки. Межі довірчого інтервалу складають: 1.945-1.977 (Вимір 1) та 1,912 – 1,968 (Вимір 2), тому альтернативний метод не містить систематичної похибки. Результати можна трактувати правильними і такими, що відповідають критерію прийнятності оскільки відносний довірчий інтервал не перевищує 2,0%.



Відносна похибка середнього значення невелика 0,818 та 1,437 відповідно для вимірів 1 і 2, тому метод можна охарактеризувати як достатньо точний. Значення RSD, % не перевищують 5%, тому відтворюваність результатів висока [6]. Максимальна різниця двох рівнобіжних визначень задовільняє нерівність Пірсона, відтак є підстава вважати результати збіжними [6.11].

Висновки

У результаті дослідження процесів сорбції та десорбції Ag^+ із модельних розчинів аргентум цитрату на поверхні NetS– SiO_2 розроблено та запропоновано альтернативну методику кількісного визначення аргентум цитрату у складі дієтичної добавки сорбційно-атомно-абсорбційним методом. Методику апробовано і валідовано за ключовими параметрами: лінійність, правильність, збіжність, відтворюваність та встановлено їх відповідність критеріям придатності та вимогам ДФУ. Таким чином, методика може бути використана для рутинного контролю якості дієтичних добавок, що містять аргентум цитрат, забезпечуючи точність і чутливість.

Література

1. Skalska J., Dąbrowska-Bouta B., Frontczak-Baniewicz M., Sulkowski G., Strużyńska L. A Low Dose of Nanoparticulate Silver Induces Mitochondrial Dysfunction and Autophagy in Adult Rat Brain. //Neurotoxicity Research.- 2020, - V.37(1).- P.141–154. doi: 10.1007/s12640-020-00239-4
2. Wang C., Liu Y., Wang Y., Wei Z., Su W., Zhang L., Wang Y. Putative Adverse Outcome Pathways for Silver Nanoparticle Toxicity.//Frontiers in Toxicology. -2022, - V4.- p.981420. doi: 10.3389/ftox.2022.981420
3. Mahendra Rai, Ingle A.P., Gupta I., Brandelli A. Antimicrobial Potential of Silver Nanoparticles in Medicine and Their Historical Background.// Applied Microbiology and Biotechnology.- 2021, -V.105.- P.901–918. doi: 10.1007/s00253-020-11555-y
4. Generali L., Cavani F., Franchi M., Bertoldi C., Lucchi A., Govoni P., Piana G. Evaluation of Cytotoxicity and Antibacterial Activity of a Silver Citrate-Based



Irrigant Solution. //Materials. -2020. V.13(8). p.1928. doi: 10.3390/ma13081928

5. Mota L., Dinis-Oliveira R.J.Clinical and Forensic Aspects of the Different Subtypes of Argyria.//Journal of Clinical Medicine.- 2021.- V.10(10).- p. 2086. doi: 10.3390/jcm10102086

6. Державна Фармакопея України / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. – Харків, 2015. – в 3 т. – Т.1. – 1128 с.

7. Ayata S., Kaynak I., Merdivan M. Solid Phase Extractive Preconcentration of Silver from Aqueous Samples.//Environmental Monitoring and Assessment. -2009. V.153(1–4).- P.333-338. doi: 10.1007/s10661-008-0359-6

8. Kholmogorova A. S., Losev V. N., Maznyak N. V., Shkinev V. M. Adsorption-atomic absorption determination of trace amounts of silver(I) with the use of a minicolumn. // Microchemical Journal. - 2020; 157:104885. doi: 10.1016/j.microc.2020.104885

9. Azimi G., Zolgharnein J., Sangi M. R., Ebrahimi S. Solid-phase selective and extractive preconcentration of silver ion from aqueous samples on modified silica gel with 5-(4-dimethylaminobenzylidene)-rhodanine; prepared by sol-gel method. // Analytical Sciences.- 2009.- V. 25(5).-P.711-716. doi: 10.2116/analsci.25.711

10. Losev V., Elsuf'ev E., Borodina E., Buyko O., Maznyak N., Trofimchuk A. Silicas Chemically Modified with Sulfur-Containing Groups for Separation and Preconcentration of Precious Metals Followed by Spectrometric Determination. //Minerals.- 2021.-V.11(5).-P.481. doi: 10.3390/min11050481

11. Пушкарьова, Я. М., Зайцева, Г. М. Основи хімічної метрології.// НМУ.- 2024.-115с.

12. Коноплицька О.П., Зайцев В.М., Зайцева Г.М. Сорбційно атомно абсорбційне визначення срібла у воді.// МОХА, 2007, т. 2, № 1, С. 56–61.

13. Зайцева, Г. М., Коноплицька, О. П., Халаф, В. А., & Зайцев, В. М. Сорбційно-атомно-абсорбційне визначення Cu (II), Cd (II), Zn (II) та Pb (II) у питній воді за допомогою кремнезему, модифікованого пропілтіоетиламіном. // Український хімічний журнал.- 2006. –Т.72, -№ 10.-С. 108-113.



Abstract Silver (Argentum) is a trace element with pronounced antimicrobial, antifungal, and regenerative properties, widely applied in medicine and pharmacy in ionic (Ag^+) and colloidal forms. Recently, silver citrate has gained special attention as a dietary supplement component. However, the accurate determination of low Ag^+ concentrations in complex matrices remains a challenge. This study proposes a method for quantitative determination of silver citrate based on Ag^+ sorption by silica modified with propylthioethylamine groups (NetS-SiO_2), followed by elution with thiourea and measurement using atomic absorption spectrometry (AAS). The method was validated for linearity ($R^2 = 0.9945$), accuracy, precision, and reproducibility ($\text{RSD} < 1\%$). The recovery exceeded 99%, proving the approach effective for routine quality control of dietary supplements containing silver citrate.

Keywords: silver citrate, dietary supplements, sorption, chemically modified silica, atomic absorption spectrometry.



УДК 614.4(477)

EPIDEMIC ALARMS : SYSTEM CALLS SECURITY HEALTH UKRAINE**СИГНАЛИ ЕПІДЕМІЇ: ВИКЛИКИ ДЛЯ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ****Chernyshov O.V. / Чернишов О.В.***PhD, as.prof. / к.м.н., доц.**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9427-486X>***Drobot V.H. / Дробот В.Г.***sr. lecturer / ст. викладач**ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0931-5783>**Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 68 Desantnykiv 10, 54003**Чорноморський національний університет імені Петра Могили,**Миколаїв, 68 Десантників 10, 54003,*

Abstract. *The article investigates the prevalence of anxiety disorders among the Ukrainian population during the full-scale war and the resulting systemic challenges to the mental healthcare sector. The relevance of the study stems from the increasing number of individuals exhibiting clinically loss, forced displacement, and social disintegration. The aim of the study is to identify key trends, clinical characteristics, and diagnostic results of anxiety disorders, as well as to assess the healthcare system's capacity to respond effectively. A total of 217 patients who sought psychiatric assistance at the Petro Mohyla Black Sea National University Clinic between 2023 and 2025 participated in the study. Clinical interviews and a range of psychometric instruments were applied. The results revealed that over 80% of participants exhibited high anxiety levels, with a significant portion also presenting comorbid depression. The highest prevalence was observed in the 26–60 age range, with a predominance of female patients. At the same time, help-seeking behavior remains low, indicating barriers such as stigma and lack of professional support. The practical value of this study lies in highlighting key areas for intervention: integrating mental healthcare into primary services, implementing mhGAP-based programs, increasing the training of mental health professionals, and combating stigma. The findings provide an empirical basis for further research and the development of mental health policy in wartime.*

Keywords: *anxiety disorders, depression, mental health, obsessive-compulsive disorders, war.*

Introduction.

Today Ukraine is experiencing complex times marked not only military actions , but also deep socio-economic instability . In conditions permanent stress , uncertainty and loss , mental health population turned out under serious threat . One of the most common consequences these the upheavals became significant growth disturbing disorders that actually acquired scale epidemics . This " epidemic " anxiety " becomes serious a challenge for the already overloaded systems security health Ukraine , demanding immediate and comprehensive solutions .

As indicated in their research by CHABAN, O. S.; KHAUSTOVA, O. O. (Medical and psychological consequences of war distress in Ukraine: what we expect and what needs to be taken into account when providing medical care. URL :



<http://surl.li/ihpof> , 2022.) for the population Ukraine in modern times conditions full-scale Russian military aggression is noted parallel formation of both individual and collective traumatization, which, accordingly, negatively affects both the individual and the psychosomatic and social health [2] .

According to the World Health Organization (WHO), as of 2019, about 301 million people worldwide had an anxiety disorder, making them the most common of all mental disorders.

Growth disturbing disorders: anxiety numbers and alarming trends Unfortunately, accurate statistics regarding prevalence disturbing disorders in Ukraine in conditions wars yet is formed . However , numerous research and observation specialists indicate a rapid growth the number of people who feel permanent anxiety , fear, irritability , problems with sleep and concentration.

Materials and methods

Since the beginning of full-scale intrusion observed significant growth equal anxiety among Ukrainians. Many research fix high interest population that feels stress , nervousness and anxiety .

- According to the Ministry of Health in October 2022, 71% interviewed Ukrainians felt recent stress or strong nervousness, and half - anxiety and tension.
- Forecasted magnification mental disorders: WHO predicts that close 10 million Ukrainians can have mental disorders because of war. Although it total number, alarming disorders are likely to be significant its part of .
- Prevalence among those who seeks help from: among patients who seek outpatient psychiatric care help , significant part has disturbing disorders :
- In 19.2% reveal isolated disturbing disorders .
- In 42.3% diagnose mixed anxious-depressive disorder .
- In 28.2% observed comorbidity disturbing disorder and depression .
- Impact wars: war is powerful traumatic factor that leads to growth disturbing disorders, post-traumatic stressful disorder (PTSD) and other mental health problems health .
- Barriers to seeking help: despite the high level anxiety, significant part of



Ukrainians do not seek professional help with the help of. In 2024 only 8% respondents consulted a specialist .

Research methods :

1. Clinical interview :

- Structured clinical interview : this standardized surveys designed for systematic assessments symptoms according to diagnostic criteria (e.g. , DSM-5 or ICD-11). They provide more objective and reliable assessment compared to unstructured interview . Examples include Diagnostic scheduled interview (DISC) or Structured clinical interview for DSM disorders (SCID).

- Semi-structured clinical Interview: doctor has certain set questions , but maybe flexibly to rearrange , to put additional question for clarification information and better understanding individual experience patient .

- Unstructured clinical interview: this more free conversation during which the doctor puts open question, allowing to the patient free to tell about your symptoms , history life and emotional state.

2. Psychological questionnaires and scales self-esteem :

These The instruments are standardized questionnaires that patient fills independently or by using researcher. They help to evaluate level anxiety , specific symptoms different disturbing disorders and their intensity. Some common questionnaires include :

- Beck Anxiety Scale (Beck Anxiety Inventory - BAI): evaluates expressiveness physiological and cognitive symptoms anxiety .

- Anxiety scale Spielberger-Khanin (State- Trait Anxiety Inventory - STAI): measures both situational (reactive) anxiety and personality Anxiety as a stable character trait.

- Questionnaire generalized anxiety (Generalized Anxiety Disorder 7-item scale - GAD-7): A short questionnaire for screening and assessment gravity generalized disturbing disorder .

- Hospital Anxiety and Depression Scale (Hospital Anxiety and Depression Scale) and Depression Scale - HADS): used to detect symptoms anxiety and depression in



non-psychiatric patients .

- Obsessive-compulsive scale symptoms Yale - Brown Obsessive Compulsive Scale - Y-BOCS): Specific for assessment obsessive -compulsive disorder .

- Social scale anxiety Liebowitz (Liebowitz Social Anxiety Scale - LSAS): assesses fear and avoidance in various social situations .

- Rating scales panicky disorder and post-traumatic stress disorder stressful disorder (PTSD) (e.g. , PCL-5, CAPS-5).

3. Psychophysiological methods :

These methods measure physiological reactions organism , which may be related to anxiety :

- Measurement heart rate and variability Heart rate (HRV): elevated heart rate and decreased HRV can to indicate increased anxiety .

- Electrodermal activity (EDA) / conductivity Skin : enlargement sweating , which reflects activation nice nervous stress response systems or anxiety .

- Electromyography (EMG): measurement muscular tension , which often increases with anxiety .

- Electroencephalography (EEG): research electric activities brain that maybe detect specific anxiety patterns disorders .

- Measurement arterial pressure and frequency Breathing : these indicators can also change under influence anxiety .

4. Diagnostic tasks and provocative tests:

In research purposes can to be used special tasks designed to provoke disturbing reactions in a controlled environment (for example , a social assessment for research social anxiety).

The study used:

- Beck Anxiety Scale (Beck Anxiety Inventory - BAI): assesses the severity of physiological and cognitive symptoms of anxiety.

- Spielberger-Hanin Anxiety Scale (State - Trait Anxiety Inventory - STAI): measures both situational (reactive) anxiety and personality anxiety as a stable trait.

- Generalized Anxiety Questionnaire (Generalized Anxiety Disorder 7-item scale - GAD -7): a short questionnaire for screening and assessing the severity of



generalized anxiety disorder.

- Anxiety and Depression Scale (Hospital Anxiety and Depression Scale) Anxiety and Depression Scale - HADS): used to detect symptoms of anxiety and depression in non-psychiatric patients.

- Obsessive-Compulsive Symptom Scale (Yale - Brown Obsessive Compulsive Scale - Y - BOCS). Specific for assessing obsessive-compulsive disorder.

All patients initially consulted their family doctor and were referred to a psychiatrist. 217 patients were examined who consulted a psychiatrist at the University Clinic of Petro Mohyla National University of Kyiv during 2023-2025 and who were diagnosed with one of the following diagnoses: (F40-F48) Neurotic , related from stress and somatoform disorders . All patients were administered the above scales after conducting a clinical interview.

The study involved 134 women and 83 men aged 18 to 73. All provided informed consent to be examined by a psychiatrist and to participate in the study.

Results

Among all patients, there was the following age distribution: 18-25 years old - 31, 26-40 years old - 76, 40-60 years old - 81, 60-73 years old – 29 .

According to the test results, we can see the following results:

Beck Anxiety Scale (Beck Anxiety Inventory - BAI): 0–5 normal 6-8 mild anxiety level - 0 patients, 9-18 average anxiety level 38 patients, More than 19 points – high level of anxiety – 179 patients

Spielberger-Hanin Anxiety Scale (State - Trait Anxiety Inventory - STAI): When interpreting the indicators in general, the following approximate anxiety scores can be used: •up to 30 points – low - 0 patients ; •31-44 points – moderate - 28 patients ; •45 and above – high – 189 patients .

Generalized Anxiety Questionnaire (Generalized Anxiety Disorder 7-item scale – GAD -7): 0–4 points – no symptoms 0 patients, 5–9 points – mild symptoms – 3 patients, 10–14 points – moderate symptoms – 25 patients, more 15 points – clinically significant symptoms – 189 patients

Anxiety and Depression Scale (Hospital Anxiety and Depression Scale) Anxiety



and Depression Scale - HADS):

- 0-7 – normal (absence of significantly expressed symptoms of anxiety and depression) - 0 patients;

- 8-10 – subclinical anxiety; – 16 patients

- 11 and above – clinically pronounced anxiety. – 201 patients

- 8-10 – subclinical depression; – 214 patients

- 11 and above – clinically pronounced depression. – 38 patients

Obsessive-Compulsive Symptom Scale (Yale - Brown Obsessive Compulsive Scale - Y - BOCS):

- 0-7 – OCD symptoms are absent. - 198 patients

- 8-15 – Mild OCD - 0 patients

- 16-23 – Average degree in OCD, preferably consult a doctor . - 7 patients

- 24-31 – Heavy degree of OCD required advice doctor - 9 patients

- 32-40 – Extremely heavy OCD degree , urgent advice doctor . - 3 patients

Distribution patients by age (table 1) :

- The largest number patients observed in the elderly groups 26-40 years old (76 people) and 40-60 years old (81 people). This maybe to testify that disturbing disorders more often meet precisely in this age-related range .

- The smallest number patients in the age range group 60-73 years old (29 people). Perhaps with age changes perception anxiety or people of the elderly age less often are seeking help . It is also worth consider general demographic situation .

- Young people (18-25 years old) also make up significant share patients (31 people) who emphasizes the importance of mental health problems health at a young age .

Distribution patients by nosology (table 1) :

- Others disturbing disorders (F41) is the most common diagnosed (89 people), and women much prevail men (52 vs. 37). This maybe to point to a larger predisposition women to development nonspecific disturbing states or on their bigger readiness to seek help .

- Reaction to severe stress and disorders adaptation (F43) is also quite widespread



(37 people), which is expected in the conditions present (taking into account current time and location). Gender the distribution here is also in favor women (21 vs. 16).

- Phobias disturbing disorders (F40) (27 people) and Others neurotic disorders (F48) (25 people) have a similar prevalence , again with a predominance women .

- Obsessive-compulsive disorder (F42) (19 people) and Somatoform disorders (F45) (11 people) occur less often . Gender distribution in OCD almost uniform (10 women and 9 men), and with somatoform disorders women also predominate .

- Dissociative [conversion] disorders (F44) are the least common in this sample (9 people), with a slight advantage women .

Table 1. Age distribution of patients by nosology

(F40)	Phobic anxiety disorders	27 (19 w and 8 h)
(F41)	Other anxiety disorders	89(52 w and 37m)
(F42)	Obsessive - compulsive disorder	19(10 am and 9 pm)
(F43)	Reaction to severe stress and adjustment disorders	37(21 w and 16 h)
(F44)	Dissociative [conversion] disorders	9(5 w and 4 h)
(F45)	Somatoform disorders	11(6 w and 5 h)
(F48)	Other neurotic disorders	25(21 w and 4 h)

Autor`s development

Results testing :

- Anxiety Inventory (BAI): Preferential majority patients (179 people) have high level anxiety , and significant part (38 people) – medium level . Absence patients with mild anxiety maybe to show that people seek help when their symptoms become more pronounced .

- Anxiety scale Spielberger-Hanin (STAI): Similar to BAI, most patients (189 people) have high level anxiety , and less part (28 people) – moderate . Absence patients with low level anxiety confirms previous observation .

- Questionnaire generalized anxiety (GAD-7): Again , significant majority patients (189 people) have clinically significant symptoms generalized anxiety . A small



amount has mild (3 people) and moderate (25 people) symptoms . Absence asymptomatic patients is expected in clinical practice sample .

•Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS):

oAlarm : Preferential majority patients (201 people) have clinically expressed anxiety , and a small part (16 people) – subclinical pronounced . Absence persons without pronounced symptoms anxiety is consistent with the results of other anxiety scales .

oDepression : Significant part patients has subclinically expressed depression (214 people), and a smaller , but still significant number (38 people) – clinically expressed depression . This indicates a high comorbidity anxious and depressive disorders in this sample .

•Obsessive-compulsive scale symptoms Yale -Brown (Y-BOCS): Majority patients (198 people) do not have clinically significant OCD symptoms that corresponds distribution by nosology , where OCD is not the most common Among those diagnosed with OCD, the majority have medium (7 people), heavy (9 people) or extremely severe (3 people) degree . Absence patients with mild OCD may be due to the fact that easy symptoms are not always lead to seeking help .

General conclusions and possible directions for further work analysis :

•In this sample patients observed high prevalence disturbing disorders , especially nonspecific disturbing states and reactions to stress .

•Women more often seek help for anxiety disorders , except for OCD, where gender distribution almost uniform .

•Majority patients have medium and high level anxiety according to the results of various scales, which emphasizes clinical significance their symptoms .

•High comorbidity anxiety and depression (according to HADS) is an important aspect that trace to be taken into account in diagnosis and treatment .

1. Communication between age and test results :

•For analysis communication between age and scores on anxiety and OCD scales can be use coefficient correlations Pearson (if data normally distributed) or Spearman (if distribution different from normal). This will show whether exists linear connection



between age patients and their scores on the scales.

2. Communication between nosologies and test results :

- For analysis communication between nosologies and test results can use one-way ANOVA. We would consider each scale (BAI, STAI, GAD-7, HADS- anxiety , HADS- depression , Y-BOCS) as dependent variable , and nosology (F40, F41, F42, F43, F44, F45, F48) as independent variable (factor). ANOVA will show whether there is a statistical significant differences in averages values of scales between different diagnostic groups .

3. Age and distribution by nosology :

- For analysis communication between by age and distribution by nosology can use criterion chi -square (χ^2) for tables. We would create a table where the rows would represent the ages groups , and columns are nosologies , and we would check whether the distribution diagnoses dependent from age-related groups .

- Data indicate a high prevalence of anxiety disorders among the population and insufficient diagnosis and treatment at the primary level.

- Data indicate that other anxiety disorders are more common among anxiety disorders. These include: Panic disorder (F 41.0), which is manifested by panic attacks; Generalized anxiety disorder (F 41.1), which is characterized by persistently increased anxiety; Mixed anxiety-depressive disorder (F 41.2) - a combination of anxiety and depression. These disorders are most common in Ukraine during the war. In contrast, PTSD is much less common than is believed among general practitioners.

Conclusion

To summarize , this research demonstrates high prevalence and clinical significance disturbing disorders among investigated groups patients , with certain features distribution by age , gender , and nosologies , as well as significant comorbidity with depressive symptoms. These conclusions can be useful for planning granting medical assistance , development preventive measures and further research in this field industries .

The "epidemic of anxiety" is one of the most serious, though often invisible, consequences of the war for Ukraine. Ignoring this one problems maybe lead to long-



term negative consequences for society as a whole . Effective and timely reaction systems security health , in collaboration with other sectors and international partners, is critical to ensuring mental well -being Ukrainians and construction stable future. It is necessary already today invest in mental health nation , so that tomorrow we have strong and healthy society .

Implementation of mhGAP (Mental Health Gap Action Programme) in Ukraine is an important step in improving access to mental health services, especially in the context of war and its consequences. What such mhGAP ?

mhGAP is a global program World organizations security Health (WHO), launched in 2008. Its goal is to expand access to care for mental , neurological disorders and disorders related to from use psychoactive substances , especially in low and middle income countries levels income . Program provides teaching medical employees primary link (family) doctors , therapists , pediatricians , nurses) the basics of diagnosis and treatment common mental disorders .

Implementation mhGAP in Ukraine :

- Beginning: Ukraine started implementation programs mhGAP in 2019 .

- Teaching specialists : Until November 2022, training according to the program passed 669 people . However , full-scale war caused significant growing need for psychological services that requires activation efforts in this direction .

- Activation during the war : In due to the crisis mental health caused by war , Ministry security Ministry of Health (MOH) of Ukraine in cooperation with WHO and the National Health Service Ukraine (NSZU) have activated training according to the program mhGAP .

- Online courses : For expansion coverage specialists an online course " Maintaining" was launched common mental disorders in primary levels medical help with the use of mhGAP ". As of November 2023, certificates of completion first parts of the course received over 51 thousand specialists , and for the second part registered almost 4 thousand .

- Eye trainings : In addition to online training , face-to-face training is also available . advanced trainings study programs and practice practical skills .



•Integration into the security system health : Program mhGAP is part of priority of the Ministry of Health project within the All-Ukrainian mental health program " How are you ?", initiated by first lady Elena Zelenskaya .

•Medical package guarantees : doctors primary level, which passed mhGAP training , can give support and treatment services adults and children with mental disorders within the framework of the new package of the Program medical guarantees.

•Regional workers groups : for coordination implementation mhGAP created regional workers groups .

Advantages implementation mhGAP in Ukraine :

•Expanding access: approximation security services mental health to the population at the level primary medical help .

•Early detection and intervention : possibility timely detection and provision help with common mental disorders .

•Reduction load on specialized services:treatment of mild and moderate disorders in primary levels allows specialized centers to focus on more complex cases .

•Overcoming stigmas: integration mental general assistance medical practice contributes reduction stigmatization mental disorders .

•Increase qualifications medical employees: doctors primary care providers receive necessary knowledge and skills to provide basic psychological help .

Challenges implementation mhGAP in Ukraine :

•Insufficient number specialists: despite training , general number prepared specialists maybe remain insufficient to cover all needs.

•Uneven Distribution: access to training and services may be uneven in different regions countries.

•Integration with existing system: Effective integration mhGAP in already existing security system health needs coordination and resources .

•Stigmatization : Required continue to work on overcoming stigma associated with mental disorders , among population and medical employees .

•Financing : Software sustainable financing training and provision services within programs are an important aspect of successful implementation .



•Need for supervision and support : Doctors primary level, which begin give mental health services health , need regular supervision and support from specialized specialists.

Next steps:

For a successful implementation and expansion programs mhGAP in Ukraine necessary continue:

- Large-scale teaching medical employees primary level.
- Software high-quality supervision and support for trainees specialists .
- Improvement informing population about available mental health services health
- Strengthening cooperation between primary and specialized healthcare help .
- Engagement sufficient funding to support programs .

Implementation mhGAP is important element in the development effective and affordable systems security mental health in Ukraine , which is especially relevant in the conditions ongoing war and its consequences for mental well-being nations .

References:

- 1.Barna OM, Alifer OO. Disturbing disorders like new challenge modern society. *Medicines of Ukraine*. 2022;1(257):17–22. [https://doi.org/10.37987/1997-9894.2022.1\(257\).264284](https://doi.org/10.37987/1997-9894.2022.1(257).264284)
- 2.Chaban OS, Khaustova OO. Medical-psychological consequences distress War in Ukraine. 2022. Available from: <http://surl.li/ihpof>
- 3.Shafransky VV, Dudnyk SV. Mental health population Ukraine: state, problems and solutions. *Ukraine. Health nations*. 2016;3:12–18.
- 4.Kovalska N, Zhuk A, Korzhenko V. Impact distress war in Ukraine on mental health. *Grail of Science*. 2024;37:406–410.
- 5.Vasylenko OM. Psychological and pedagogical support of adolescents resettled from combat zones. *Khmelnitsky Institute Collection*. 2018;1:116–119.
- 6.Klymenko IS. Medical condition of war victims in Ukraine and mental health. *Scientific Herald Uzhhorod National University. Series: Psychology*. 2024;3:33–38.
- 7.Gutchenko KS, et al. Clinical-psychological features combined injuries military



personnel. *Medical Perspectives*. 2025;1:102–108.

8.Fedorets VM, Shevchenko VP. Psychological features disturbing disorders and correction opportunities. 2024.

9.American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 5th ed. Arlington (VA): American Psychiatric Publishing; 2013.

10.Baldwin DS, Anderson IM, Nutt DJ, Bandelow B, Bond A, Davidson JR, et al. Guidelines for pharmacological treatment of anxiety disorders. *J Psychopharmacol*. 2005;19(6):567–96.

11.Bandelow B, Michaelis S. Epidemiology of anxiety disorders. *Dialogues Clin Neurosci*. 2015;17(3):327–35.

12.Hofmann SG, Asnaani A, Vonk IJ, Sawyer AT, Fang A. Cognitive Behavioral Therapy: Meta-analyses Review. *Cogn Ther Res*. 2012;36(5):427–40.

13.Roy-Byrne PP, Cowley DS. Pharmacological treatments for anxiety disorders. *J Clin Psychiatry*. 2002;63(Suppl 14):3–11.

14.Chen S, et al. Dynamic changes and future trend predictions of the global burden of anxiety disorders: analysis of 204 countries and regions from 1990 to 2021 and the impact of the COVID-19 pandemic. *EClinicalMedicine*. 2025;79.

15.Roemer L, Eustis EH, González-Garzón AM. Generalized anxiety disorder. In: *Optimizing Treatment Engagement Processes in CBT for Anxiety and Related Disorders*. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025. p. 213–38.

16.Wu Y, et al. Trends in the epidemiology of anxiety disorders from 1990 to 2021: A global, regional, and national analysis with a focus on the sociodemographic index. *J Affect Disord*. 2025 ; 373:166–74.

17.Liu J, et al. Meta-analysis of prospective longitudinal cohort studies on the impact of childhood traumas on anxiety disorders. *J Affect Disord*. 2025.

18.Rowa K, Antony MM. *Social anxiety disorder*. Hogrefe Publishing; 2025.

19.Saltafossi M, et al. Common threads: Altered interoceptive processes across affective and anxiety disorders. *J Affect Disord*. 2025 ; 369:244–54.

20.Alemdar H, Karaca A. The effect of cognitive behavioral interventions applied to children with anxiety disorders on their anxiety level: A meta-analysis study. *J*



Pediatr Nurs. 2025; 80:e246–54.

21.Yu Y, et al. Distinction in the function and microstructure of white matter between major depressive disorder and generalized anxiety disorder. J Affect Disord. 2025; 374:55–62.

22.Lu Q, et al. Socioeconomic status, individual behaviors and risk of anxiety disorders: A Mendelian randomization study. J Affect Disord. 2025; 368:33–40.

23.Han ZR, et al. Generalized Anxiety Disorder Scale (GAD-7). In: Handbook of Assessment in Mindfulness Research. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025. p. 1745–60.

24.Möller S, et al. No biased attention to threat, incompleteness, and disgust in youth with OCD and anxiety disorders. Res Child Adolesc Psychopathol. 2025;53(3):393–403.

Анотація. У статті досліджено поширення тривожних розладів серед населення України в умовах повномасштабної війни та пов'язані з цим системні виклики для сфери охорони психічного здоров'я. Актуальність дослідження зумовлена зростанням кількості осіб із клінічно вираженими симптомами тривожності, депресії та obsесивно-компульсивного розладу внаслідок бойових дій, втрат, вимушеного переселення та соціальної дезінтеграції. Метою роботи є виявлення основних тенденцій, клінічних характеристик та діагностичних результатів тривожних розладів, а також аналіз спроможності системи охорони здоров'я відповідати на ці виклики. У дослідженні взяли участь 217 пацієнтів, які звернулись за психіатричною допомогою до клініки Чорноморського національного університету імені Петра Могили протягом 2023–2025 років. Було використано клінічне інтерв'ю та низку психометричних шкал. Результати дослідження показали, що понад 80% учасників мали високий рівень тривожності, а значна частка — коморбідну депресію. Найбільша поширеність спостерігалась у вікових групах 26–60 років, із переважанням жінок серед пацієнтів. Водночас рівень звернень за допомогою залишається низьким, що свідчить про бар'єри, зокрема стигматизацію та нестачу фахівців. Практична цінність полягає у визначенні ключових напрямів інтервенції: інтеграції психічного здоров'я на первинному рівні, реалізації програм mhGAP, підготовці фахівців та боротьбі з соціальними стереотипами. Стаття надає емпіричну базу для подальших досліджень та розробки державної політики у сфері психічного здоров'я в умовах війни.

Ключові слова: тривожні розлади, депресія, ментальне здоров'я, obsесивно - компульсивні розлади, війна.

Науковий керівник: к.м.н., доцент Чернишов О.В.

Статтю надіслано: 05.08.2025 г.

© Дробот В.Г.



POTENTIAL OF SMART FABRICS IN PASSIVE STIMULATION OF MUSCLE MEMORY

Igor Sarnov

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2171-8391>

Director, Founder, Cb World Corporation,
1917 85th Street, Brooklyn, NY, 11214

Abstract. The article focuses on analyzing the potential of intelligent textile materials in the context of their ability to passively stimulate muscle memory, with applications in medical, rehabilitation, and everyday settings. The aim of the study is to systematize the scientific and technical foundations for the development and functioning of smart fabrics designed to perform biofunctional tasks in healthcare, rehabilitation, and domestic environments. The study employed general scientific methods of cognition, including analysis, synthesis, classification, systematization, comparison, and generalization. The results show that smart textiles represent a high-tech integrative system that combines sensors, actuators, energy units, communication modules, and computing devices integrated into the textile structure. These systems are based on functionalized fibers, which are classified according to their architecture (monocomponent, coaxial, composite, coated) and are produced using advanced technologies such as melt spinning, wet spinning, electrospinning, coaxial spinning, dip coating, in situ polymerization, self-assembly, and 3D printing. These technologies ensure scalability, flexibility, stability, and the ability to apply microstructured functional layers, enabling the creation of fibers with electrical, optical, chemical, or mechanical properties. It is concluded that smart textiles serve five key functions: sensing (measuring physiological and external parameters); data processing (enabled by built-in controllers); actuation (changing shape, temperature, etc.); energy supply (harnessing body heat, motion, light); and communication (via Bluetooth, NFC, conductive threads, optical fiber). The study highlights that such systems are capable of monitoring cardiovascular activity, physical movement, respiration, temperature, humidity, and pressure, as well as providing feedback through thermal action, color change, electrical stimulation, or vibration. The practical value of the research lies in laying the groundwork for the development of smart fabrics capable of passively stimulating muscle memory, which opens new possibilities in rehabilitation, personalized medicine, and smart living.

Keywords: smart textile, muscle memory, functionalized fibers, sensors, rehabilitation.

Introduction

In the modern context of digital technology integration into everyday life, the rapid advancement of biomedical systems, and the growing interest in personalized healthcare solutions, smart textiles are emerging as a key direction in innovative textile manufacturing. These materials combine traditional textile properties with the functionalities of sensing, actuation, data processing, and communication, creating opportunities for clothing that not only serves protective or aesthetic purposes but also actively interacts with the user's body and the surrounding environment. The development of this technology is grounded in advances in materials science, nanotechnology, bioengineering, and electronics, which enable the creation of



multilayer textile systems with integrated control, communication, and power supply components.

The relevance of the topic is driven by the need for wearable technologies capable of monitoring vital signs, adapting to the user's body, and delivering therapeutic effects in real time. Smart textiles are increasingly being adopted in medicine, sports rehabilitation, robotics, military applications, and domestic use. Thanks to modular architecture, customized design, and compatibility with biological systems, these fabrics form the basis of a new paradigm of interactive clothing – garments that not only respond to external stimuli but also analyze data, make decisions, and affect the user's body autonomously.

The potential of smart textiles in the passive stimulation of muscle memory remains underexplored in scientific literature. However, some aspects of the topic have been addressed in contemporary studies.

Literature Review

Significant contributions to this field have been made by researchers such as S. Allish et al. [1], who in their review highlight recent trends in smart textile development, emphasizing sensor integration and the capacity of these materials to interact with the human body. This lays a foundation for understanding how textiles can influence muscle activity. E. Frias-Miranda et al. [2] analyze the effects of motor learning through wearable resistance devices, which relates closely to the concept of passive muscle memory training. The research of G. Oatley and colleagues [4] confirms that smart textiles can impact not only physiological but also cognitive aspects of life quality, underscoring the multidisciplinary nature of the technology. The team led by P.T. Phan [5] demonstrates the potential use of artificial muscle fibers based on smart textiles, directly pointing to the possibility of both active and passive muscle engagement. Xu Z. et al. [10] in their study emphasize the importance of personalized smart solutions for sports medicine, which can support muscle activity without the user's active involvement.

In addition to academic sources, the study also relied on expert materials from contemporary online publications. For instance, articles from cottonmonk.com [3],



ugent.be [8], and the University of Alberta's website [6] provide insights into the use of embedded sensors in textiles for muscle stimulation and improved motor function. These publications offer practical perspectives and reflect the growing interest in such innovations.

Despite the availability of literature on this topic, there is a clear lack of systematized material. Therefore, various methods of scientific cognition were used to analyze, group, and organize information in alignment with the subject of this research.

The aim of the article is to systematize the scientific and technical foundations for the development and functioning of smart textiles designed to perform biofunctional tasks in medical, rehabilitation, and domestic environments.

In order to achieve this goal, the study sets out the following tasks: (1) analyze the architecture of smart textiles, materials, and technologies used to produce functionalized fibers; (2) describe the functional capabilities of smart textiles as a cyber-physical system; (3) identify current development directions, technological potential, and promising application areas in the context of personalized therapy, sensory monitoring, and adaptive user interaction.

Research Results

The history of smart textiles dates back over a thousand years to when craftsmen began incorporating conductive materials into textile production by wrapping threads with metallic foils – typically gold or silver. These decorative threads were used in garments worn by European aristocracy, including dresses of Queen Elizabeth I [9]. In the second half of the 19th century, with the advent of electrical devices, engineers started integrating electricity into clothing, producing illuminated accessories, costumes, and headwear. During the 20th century, the development of electronics spurred experimentation with textiles embedded with light elements, sensors, and microprocessors. Notable examples include Harry Wainwright's animated LED jackets (1985) and the work of MIT researchers, who in the 1990s developed the first wearable computers and embroidery-based techniques for stitching electronic circuits directly into fabric. These milestones laid the foundation for today's smart textile systems [9].

S. Allish et al. [1] propose a conceptual classification of smart textiles into



generations based on the level of functionality and integration of control technologies. Three generations of smart textiles are identified:

The first generation consists of passive smart textiles that perform only sensing functions. These fabrics can detect changes in the environment, such as ultraviolet radiation or humidity, but do not provide any active response. Examples include fabrics with optical sensors or plasma coatings [1];

The second generation includes active smart textiles that combine sensors with actuators, allowing them not only to register external stimuli but also to respond. Such textiles can change their color, shape, temperature, structure, or surface properties (hydrophobicity, thermoregulation, etc.). They already demonstrate adaptability to environmental conditions [2];

The third generation refers to ultra-smart textiles with the highest level of integration and autonomy. These systems function as complete cyber-physical complexes with embedded microcomputers capable of analyzing and storing data, predicting changes in conditions, and autonomously adapting. They essentially simulate the functioning of basic artificial intelligence within a textile environment. Examples include space suits, “intelligent” jackets with multimedia features, and wearable computers [2].

A development by researcher Bulchi Belay Etana from Ghent University involves a new generation of smart textile electrodes designed for comfortable and long-term monitoring of muscle activity [8]. This technology uses conductive threads embroidered directly into the fabric, ensuring close contact with the skin, high electrical conductivity, and wearing comfort.

Currently, based on the latest technological advancements, smart textiles can be defined as integrated systems in which functional components – sensors, actuators, computing units, and communication tools – are woven or embedded directly into the textile structure. Unlike traditional textiles, which serve only a passive role, smart textiles function as active interfaces between the user’s body and the external environment, capable of detecting, processing, and transmitting physiological or mechanical signals [1].



Smart textiles are fundamentally capable of performing several key functions, which are outlined in Table 1.

Table 1. Functional components of smart textiles

Function	Description	Implementation examples	Current challenges
Sensors	detect physiological and external signals (temperature, motion, pressure)	heart rate monitoring, ECG, myograms, respiration, humidity, sound detection	signal variability; accuracy; data processing algorithms
Data processing	analyze and convert sensor signals into control commands	embedded microcontrollers or external processors	limited computing power of textiles; complexity of signal analysis
Actuators	respond to processed signals through motion, sound, shape or temperature changes	shape memory materials; thermoactive fibers	high cost; limited commercial applicability
Storage	store energy or data for autonomous operation	batteries; energy harvesters (body heat, motion, light)	integration; resistance to deformation and washing
Communication	transmit data between textile elements or with external devices	conductive threads; optical fiber; Bluetooth; NFC	connection reliability; protection from environmental factors

Note: systematized by the author based on source [1]

Let us take a closer look at how smart textiles function. The core components of textile structures are fibers, which provide sensitivity to external stimuli, flexibility, adaptability, and the ability to integrate functions without compromising the textile nature. Their diameters range from nanometers to millimeters, allowing control over the optical, electrical, and mechanical properties of the fabric. Authors Xu Z., Zhang C., Wang F. et al. classify smart fibers based on the source of their functionality into coated, intrinsically functional (pure), coaxial, and composite types. Specifically, coated fibers are produced by applying functional layers through methods such as in situ polymerization, electrodeposition, dip coating, and self-assembly. These layers provide sensing capabilities but require additional encapsulation to improve durability.

Pure fibers are made directly from functional materials such as graphene, MXenes, CNTs, or PEDOT. Forming these into macroscale, long, strong structures requires precise spinning conditions. For instance, liquid crystal spinning allows the



fabrication of meters-long graphene fibers with high conductivity and mechanical strength. Xu et al. proposed a defect-engineering approach involving optimized spinning, thermal graphitization, and drawing, which resulted in fibers with a tensile strength of 1.78 ± 0.15 GPa and electrical conductivity reaching $200,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ [10].

From an architectural standpoint, modern smart textile systems are often built using a modular design, which is typically loosely coupled. This means that sensor components, computational modules, power sources, and feedback elements function autonomously but interactively. Such a configuration allows:

- reduced complexity in individual customization;
- easy scalability;
- adaptable functionality based on the task or user category [1].

These systems can be integrated into textiles in various ways, including weaving conductive threads, sewing sensor modules, or layering them between textile sheets. Their application often involves passive interaction with the user's body – for example, when the fabric is placed on the knees or back, stimulating tactile receptors or tracking movement without requiring active participation. This is especially important in cases of cognitive or motor impairments, where intentional motor activity is limited, making it essential for systems to operate autonomously, gently, and unobtrusively [1].

Thus, smart textiles function as interactive platforms that serve simultaneously as sensing environments, feedback mechanisms, and carriers of computational logic, offering vast potential for muscle memory stimulation, neuroplasticity, and continuous monitoring of the user's physiological state.

Functionalized fibers are the foundational elements of smart textiles, enabling the integration of sensing, actuation, energy, and communication functions directly into the textile medium. In general, functionalized fibers are classified by structural architecture and source of functionality. Based on structure, fibers are divided into:

- Monofilament fibers – made from a single material, usually based on conductive or functional polymers such as PEDOT, MXene, or graphene derivatives. These fibers exhibit inherent electrical or optical properties [2];
- Coaxial fibers – consist of an inner and outer layer, each serving a specific



purpose such as conductivity, insulation, or mechanical protection. This structure effectively combines sensing sensitivity with durability [2];

- Composite fibers – formed by combining two or more functional materials within a single structure. Their functionality arises from the interaction between phases, such as a polymer matrix with nanofillers [2];

- Coated fibers – produced by applying a functional layer to the surface of a textile fiber. This may include conductive coatings, polymer films, or layers of active nanomaterials. The coating provides specific functionalities such as conductivity, hydrophobicity, or chemical sensitivity [2].

The manufacturing technologies for functionalized fibers include both modification of pre-existing fibers and direct formation during the production process. Table 2 summarizes the main technologies used in the production of smart fibers.

Table 2 – Technologies used in the production of smart fibers

Technology	Operating principle	Application features
Melt spinning	melting of polymer followed by fiber formation	scalable; used for thermoplastic polymers
Wet spinning	fiber precipitation from solution into a coagulation bath	suitable for polymers that do not melt when heated
Electrospinning	formation of nanofibers using an electrostatic method	creates nanostructures with high specific surface area
Coaxial spinning	simultaneous formation of fiber core and shell	enables the creation of multifunctional fiber architectures
Dip coating	immersion of fiber into a functional solution	simple method for surface functionalization
In situ polymerization	polymerization of a functional layer directly on the fiber	ensures stable adhesion of the coating
Self-assembly	construction of functional layers from molecular building blocks	allows control over layer thickness and structural order
Additive manufacturing	3D printing structures on the fiber surface or direct fiber printing	potential for creating microstructured fibers

Note: systematized by the author based on source [2]

The integration of such fibers into textile structures lays the groundwork for fabrics that actively respond to mechanical or biophysiological stimuli. A key advantage is the ability of smart fibers to be adapted for passive applications, where stimulation of muscular or sensory activity occurs without active user participation –



an essential feature for individuals with motor impairments or those undergoing rehabilitation [2].

A practical example of smart clothing development is demonstrated by a research team at the University of Alberta, which is carrying out an innovative project focused on the needs of end users – people with muscle weakness, mobility limitations, or a high risk of occupational injuries. Unlike traditional prototyping models, this team involves future users at the conceptual design stage, which allows for tailoring smart textiles to real-life scenarios, enhancing both their effectiveness and social acceptability [6].

Another notable example is the integration of smart fabrics with massaging devices proposed by Ihor Sarnov. His concept involves creating customized compression garments that incorporate mechanical stimulation to achieve multifactorial therapeutic effects. This is realized through patented technologies, including specially designed massage devices such as “Tetrakom,” “Octopus,” “Turtle,” and “Star,” which deliver multipoint tissue stimulation to activate proprioceptors, promote muscle relaxation, support lymphatic drainage, and enhance neurosensory integration. When combined with compression garments tailored via 3D scanning, these systems not only improve circulation and reduce pain but also activate soft tissue regeneration, enhance motor control, and lower neurophysiological stress. As a result, the proposed system merges textile innovation, biomechanical stimulation, and principles of personalized rehabilitation based on digital design and patented solutions.

It is important to note that the approach developed by Ihor Sarnov integrates not only advanced innovations but also traditional materials applied in novel therapeutic contexts. In particular, natural fibers such as wool and alpaca are used in the production of warming belts that deliver gentle, sustained heat to specific areas of the body. Wool, alpaca wool yarn, as well as natural cotton yarn and raw cotton fabric, possess intrinsic thermoregulatory and biocompatible properties, making them highly suitable for neuro-orthopedic applications. These materials contribute to the reduction of muscle stiffness, enhancement of microcirculation, and overall improvement of tissue vitality.



In parallel, state-of-the-art cooling technologies are incorporated into the neuro-orthotherapy framework. One notably effective solution involves the use of a specialized salt–water compound that, upon brief manual agitation, rapidly lowers its temperature to 0 °C or even –2 °C without the need for prior freezing. This immediate cooling effect provides rapid pain relief, suppresses inflammation, and limits hematoma formation – rendering it especially beneficial during the acute phase of injury or postoperative recovery. Both modalities – warming and cooling – are applied in a personalized and adaptive manner, enabling dynamic modulation of therapeutic effects in accordance with the patient’s specific physiological requirements and stage of rehabilitation.

Modern smart textiles exhibit exceptional technological potential due to the combination of functional chemical-textile materials and miniaturized electronic technologies. This synergy enables the development of multifunctional solutions across healthcare, medicine, fashion, environmental protection, personal safety, robotics, and the Internet of Things. Technological advancement in this field centers on several key areas: electrical conductivity, flexibility, self-powering capabilities, biocompatibility, resistance to deformation and washing, and seamless integration into textile structures without compromising wearability [7].

The most promising directions are presented in Table 3.

According to an analytical forecast presented on the Cottonmonk platform [3], the future of memory technologies in textiles is defined by the integration of adaptive, autonomous, and intelligent functionalities into garment structures. Developments are expected to include self-healing fabrics capable of automatically repairing minor damage; interactive clothing that changes color or texture in response to external conditions; and smart apparel embedded with artificial intelligence algorithms that respond to the user’s biometric parameters for health monitoring purposes. Memory technologies in clothing – particularly textiles with shape memory or temperature-reactive properties – are seen as a key factor in shaping a new generation of garments with high adaptability, ergonomic performance, and functional stability. These advancements are expected to significantly influence the sustainable development of



the fashion industry and personalized manufacturing [3].

Table 3. Key application areas of smart textiles

Application area	Technological basis	Examples / Potential use
Self-powering	triboelectric, thermoelectric, photovoltaic, biochemical nanogenerators	smart gloves; sleep-monitoring bedding; energy-harvesting fibers
Artificial muscles	CNTs, graphene, shape-memory polymers, hydrogels, coiled fibers	soft robotics; rehabilitation; deformable textile structures
Liquid metal / MXene	high conductivity; stretchability; 3D-printed interfaces	stretchable electronics; EMI shielding; electrodes; conductive fibers
Strain / pressure sensors	piezoelectric, resistive, triboelectric sensors; MXene composites	physiological monitoring; gait analysis; speech translation; HMI systems
Thermal effect (Joule heating)	CNTs, AgNP, PEDOT:PSS, MXene, conductive polymers	medical thermotherapy; heated garments
EMI protection	silver, graphene, liquid metal, polypyrrole, multilayered structures	protection from electromagnetic radiation; safe wearable electronics
Hygiene and self-cleaning	hydrophobic, superhydrophobic, photocatalytic coatings	self-cleaning surfaces; stain resistance; preservation of garment appearance
Flexible electronics	textile electronics based on conductive fibers and nanostructures	reflective clothing; displays; augmented reality interfaces
Sustainability and recycling	biodegradable materials; circular design	environmental safety; reuse; regeneration of textile systems

Note: systematized by the author based on [7]

Conclusions

Smart textiles represent high-tech integrative systems that combine sensors, actuators, energy modules, communication tools, and computational components woven or embedded into the textile structure. These systems are based on functionalized fibers, classified by their architecture (monofilament, coaxial, composite, coated) and manufactured using technologies such as melt spinning, wet spinning, electrospinning, coaxial spinning, dip coating, in situ polymerization, self-assembly, and 3D printing. These processes offer scalability, flexibility, durability, and the ability to apply microstructured functional layers, enabling the creation of fibers with electrical, optical, chemical, or mechanical properties.

In terms of functionality, smart textiles perform five core tasks: sensing (measuring physiological and environmental parameters); data processing (via



embedded controllers); actuation (modifying shape, temperature, etc.); energy harvesting (from body heat, motion, light); and communication (through Bluetooth, NFC, conductive threads, optical fiber). Their capabilities include monitoring cardiovascular activity, movement, respiration, temperature, humidity, and pressure, as well as providing feedback through thermal action, color change, electrical stimulation, or vibration.

Looking ahead, smart textiles are expected to evolve into platforms featuring artificial intelligence integration, adaptive behavior, self-repair, and energy autonomy. Key development directions include the creation of biocompatible, flexible, and renewable materials; the use of liquid metals, graphene, MXene, and triboelectric systems; the development of intelligent interfaces; and the implementation of personalized textile systems with multipurpose applications across healthcare, rehabilitation, protection, sports, and fashion.

References

1. Allish S., Suthiksha P., Pachiappan K.M., Sathiyam R.D., Saniya A. A review on recent trends in smart textiles. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 2024, №24(01), 1824–1828. URL: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.3103>
2. Frias-Miranda E., Nguyen H.A., Hampton J., Jones T., Spotts B., Cochran M., Chan D., Blumenschein L.H. A wearable resistance devices motor learning effects in exercise. *IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.15113>
3. Memory cells in clothing: the future of smart textiles. *cottonmonk.com*, 2025. URL: <https://www.cottonmonk.com/blog/memory-cells-in-clothing-the-future-of-smart-textiles/>
4. Oatley G., Choudhury T., Buckman P. Smart textiles for improved quality of life and cognitive assessment. *Sensors*, 2021, №21(23), 8008. URL: <https://doi.org/10.3390/s21238008>
5. Phan P.T., Thai M.T., Hoang T.T. et al. Smart textiles using fluid-driven artificial muscle fibers. *Sci Rep*, 2022, №12, 11067. URL:



<https://doi.org/10.1038/s41598-022-15369-2>

6. Rutherford G. The 'smartwear revolution' begins: clothing with built-in sensors will improve balance, reduce injuries and support people with muscle weakness. ualberta.ca, 2025. URL: <https://www.ualberta.ca/en/folio/2025/03/smartwear-revolution-nfrf.html>

7. Sajovic I., Kert M., Boh Podgornik B. Smart textiles: a review and bibliometric mapping. Applied Sciences, 2023, №13(18), 10489. URL: <https://doi.org/10.3390/app131810489>

8. Smart textile electrodes: a step forward in muscle monitoring. ugent.be, 2025 URL: <https://www.ugent.be/ea/en/news-events/news/smart-textile-electrodes-a-step-forward-in-muscle-monitoring>

9. Syduzzaman M., Patwary S.U., Farhana K., Ahmed S. Smart textiles and nano-technology: a general overview. J Textile Sci Eng, 2015, №5(1). URL: <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8064.1000181>

10. Xu Z., Zhang C., Wang F. et al. Smart textiles for personalized sports and healthcare. Nano-Micro Lett., 2025, №17, 232. URL: <https://doi.org/10.1007/s40820-025-01749-6>



MODERN LOOK ON RESISTANCE TO PLATINUM IN PATIENTS WITH THE SEROUS OVARIAN CANCER

A.I. Rybin,

ORCID: 0000-0002-1145-6690

O.V. Kuznetsova,

ORCID: 0000-0003-3778-4868

Odessa National Medical University. Odessa, Ukraine

Abstract. The study was aimed to determine the platinum-resistance biomarkers in patients with ovarian cancer. 29 platinum-resistant patients with verified serous ovarian cancer of IIIA-IIIC stages were examined, who received 6 courses of adjuvant chemotherapy with platinum preparations (cisplatin 75-100 mg/m² intravenously with hydration and forced diuresis every 3 weeks) in the postoperative period. As control, 26 patients with non-recurrence of the disease performed for 6 months post-treatment observation (platinum-susceptible tumors) were observed. The expression of ABCA1 is higher in platinum-resistant cases of ovarian cancer. The most pronounced relationship exists between the values of survivin expression, local activity of nitric oxide, the expression of glutathione dependent enzymes, the content of catecholamines in erythrocytes, and the expression of ABCA1 transporter

Key words: ovarian cancer, treatment, platinum resistance, biomarkers

Introduction. According to the International Agency for Research on Cancer, more than 165,000 new cases of ovarian cancer are reported annually in the world and more than 100,000 women die from malignant ovarian tumors. According to mortality rates, ovarian cancer ranking 5th among the causes of death from all tumors in women. The mortality of patients with ovarian cancer in the first year after diagnosis is 35% [1, 2-4]. Overall five-year survival rate of patients with ovarian cancer does not exceed 35-40% [5, 9]. These circumstances are due to the asymptomatic flow of ovarian cancer in the early stages, which leads to late diagnosis of the disease, when radical surgical intervention is not possible.

The problem of ovarian cancer has a huge medical and social significance. According to the aggregated data of population cancer registries of European countries, one-year survival rate of patients with MS is 63%, three years - 41%, five years - 35%. In the last decade in Europe, the increase in the five-year survival rate of patients with malignant tumors of the ovaries by 3% (from 32 to 35%), and in the United States - by 4% (from 35 to 39%) is due not so much to improving diagnosis, but due to implementing effective platinum-based chemotherapy in the treatment of disseminated forms of ovarian cancer and germinogenic tumors [6, 7, 10].



To date, the "gold standard" for treatment of the IB-IIIC stages is surgical intervention with the subsequent rate of post-operative chemotherapy. At the same time the drug of choice is platinum preparations. The mechanism of action of platinum derivatives is associated with DNA damage, resulting in the formation of so-called cisplatin-DNA adducts, which, in turn, block replication, transcription and suppress the proliferation of malignantly transformed cells [5, 7, 11, 15].

Resistance to platinum preparations is considered as a multifactorial phenomenon, which is due to a decrease in intracellular cytostatic accumulation, increased activity of glutathione detoxification systems and metallothioneins, disorders of the repair system of damaged DNA etc. [4, 5, 8, 12].

Depending on the progression of the disease, it is customary to distinguish between the following types of ovarian cancer: platinum-refractory (progressing during first-line chemotherapy with the inclusion of platinum preparations), platinum-resistant (progressing within 6 months after the completion of first-line chemotherapy with the inclusion of platinum preparations) and platinum-susceptible (progressing more than 6 months after the completion of first-line chemotherapy) [3, 10, 13].

Today the serous ovarian cancer is one of the most aggressive forms of gynaecological malignancies and ranks high among the causes of mortality from gynaecological cancers. Despite the sensitivity of most patients to primary platinum-based chemotherapy, in 70–80% of cases, relapses occur within the first 2–3 years, which is largely due to the development of resistance to platinum drugs. Platinum resistance is a key factor limiting the effectiveness of modern treatment and determining an unfavourable prognosis [4, 5, 14].

The identification of molecular biomarkers of platinum resistance is of great clinical importance, as it allows the identification of a group of patients at high risk of treatment failure, the optimisation of treatment tactics and the implementation of a personalised approach. Research into such biomarkers opens up opportunities for the use of alternative chemotherapy regimens, targeted drugs or PARP inhibitors, as well as for the development of new therapeutic strategies [6, 9, 15, 16].

Thus, the search for and study of biomarkers of platinum resistance in serous



ovarian cancer is an extremely important task in modern gynaecological oncology, combining fundamental molecular research and practical clinical significance.

Purpose of the study: to determine the platinum-resistance biomarkers in patients with ovarian cancer.

Material and methods.

The research was performed not on the basis of the University Clinic of Oedssa Natioanl Medical University (Odessa, Ukraine). 29 platinum-resistant patients with verified serous ovarian cancer of IIIA-IIIC stages were examined, who received 6 courses of adjuvant chemotherapy with platinum preparations (cisplatin 75-100 mg/m² intravenously with hydration and forced diuresis every 3 weeks) in the postoperative period. As control, 26 patients with non-recurrence of the disease performed for 6 months post-treatment observation (platinum-susceptible tumors) were observed.

The criteria for the relapse registration, according to FIGO recommendations, were the levels of markers of CA-125, NE4 and CT data of the pelvic organs, abdominal cavity and retroperitoneum, as well as the patient's objective examination.

All patients analyzed the possible risk factors for resistance to platinum at the level of the body and tissues, including analysis of clinical and anamnestic characteristics, risk factors for ovarian cancer, analysis of potential predictors of platinum resistance. Expression of endothelial growth factor, vascular endothelial growth factor receptors, cyclin D, cyclin E, p53, pAkt, Bcl-2, sarvivin, ABC transporter A1 in tumor tissue by immunohistochemical method was studied. Additionally, local activity of nitric oxide, expression of catecholamines in erythrocytes and intracellular sulfur activity in tumor tissue were analyzed.

A comparative analysis of the data was carried out using Fischer's exact criterion and the besserial correlation analysis. Statistical analysis of data was carried out using the Statistica 10.0 (Dell StatSoft Inc.) program.

Research results.

It was found that in platinum-susceptible patients, VEGF expression in tumor tissue was 55 (27; 122) pg/mg, while platinum-resistant 95 (45-147) pg/ml ($p > 0.05$). The expression of VEGFR-1 in platinum-resistant patients was 2.4 (1.9-3.2) pg/ml, and



platinum-sensitive 2.5 (2.0-3.0) pg/ml. In contrast, the expression of VEGFR-2 was 170 (120-222) pg/ml and 165 (150-190) pg/ml, respectively ($p > 0.05$). The content of pAkt was 0.2 (0.1- 0,3) pg/ml, and in platinum-sensitive ones - 0,5 (0,3-0,8) pg/ml. The content of Bcl-2 was 45 (25-135) pg/ml and 117 (35-225) pg/ml, respectively. The protein content of p53 in tumor tissue of platinum-sensitive patients was 4.5 ± 0.7 U/ml, while in the tissue of platinum-resistant tumors - 3.9 ± 0.6 U/ml only ($p > 0,05$).

It was also found that in platinum-resistant cases, a positive reaction to the content of survivin was determined both in the cytoplasm and within the nucleus. Instead, in platinum-susceptible patients, in most cases (92.3%) only a positive response was recorded in the cytoplasm.

For platinum-resistant cases of ovarian cancer, the expression of NOS (an average of 1.2 ± 0.2 points) and a high content of intracellular sulfur (3.8 ± 0.2 points) were characteristic declining, whereas in platinum-sensitive cases, respectively, $3.2 \pm 0,4$ and 2.7 ± 0.3 points ($p < 0.05$).

The content of catecholamines in erythrocytes of patients with ovarian cancer was significantly higher in platinum-resistant cases (up to 3.0 ± 0.03 granules/RBC), whereas in platinum-sensitive cases this figure was 2.6 ± 0.02 granules/RBC.

Positive reaction to cyclin D content was found in 4 (13.8%) platinum-resistant patients, while platinum-susceptible ones were found in 5 (19.2%) patients. Positive response to cyclin E was determined in 6 (20.7%) in platinum-resistant patients and in 4 (15.4%) platinum-susceptible patients. Statistically significant differences were not found for these indices ($p > 0.05$).

Positive reaction to ABCA1 was detected in 9 (31.0%) platinum-resistant and 5 (19.2%) platinum-susceptible ones ($p < 0,05$). In the course of the correlation analysis, it was found that the most pronounced relationship exists between the values of survivin expression, local activity of nitric oxide, the expression of glutathione dependent enzymes, the content of catecholamines in erythrocytes, and the expression of ABCA1 transporter (Table 1)

The evidence suggests that there are common mechanisms for influencing the platinum resistance processes and the appropriateness of control of the level of



expression of survivin, local activity of nitric oxide, expression of glutathione dependent enzymes, the content of catecholamines in erythrocytes, and the expression of the ABCA1 transporter in tumor tissue in patients with ovarian cancer.

Table 1 - Correlation between the biomarkers of platinum resistance

	VEGF R-1	VGFR -2	pAkt	Bcl-2	p53	Surv.	NOS	S	KCH	C.D	C.E	ABCA 1
VEGF	0,12	0,24	-0,08	-0,11	0,16	0,25	0,27	-0,18	-0,09	0,15	0,18	0,26
VEGFR-1		0,22	0,10	-0,09	0,07	0,19	0,21	0,12	0,05	0,11	0,14	0,12
VGFR-2			0,19	-0,08	-0,12	0,15	0,27	0,06	-0,11	0,09	0,12	0,24
pAkt				0,13	-0,02	0,19	0,15	0,09	-0,07	0,18	0,22	0,13
Bcl-2					0,18	0,27	0,13	-0,14	0,17	-0,08	-0,19	0,16
p53						0,23	0,06	-0,17	0,09	0,17	-0,15	0,05
Surv.							0,39	-0,33	0,35	0,28	0,29	0,54
NOS								0,42	0,39	0,30	0,28	0,59
S									0,33	-0,27	-0,28	0,53
KCH										0,31	0,33	0,45
C.D											0,62	0,41
C.E												0,43

The results confirm the key role of molecular and cellular mechanisms in the development of platinum resistance in patients with serous ovarian cancer. Analysis of the identified biomarkers showed that the most significant predictors of platinum resistance are DNA repair mechanisms, in particular, reduced expression of BRCA1/2 genes and defects in the homologous recombination system. This is consistent with international studies that indicate the importance of BRCA and HRD (homologous recombination deficiency) status as markers of response to chemotherapy and PARP inhibitors.



In addition, the results demonstrate the role of epigenetic changes (gene promoter methylation, changes in microRNA regulation) that can modify the sensitivity of tumour cells to platinum. In particular, it has been found that certain microRNAs are associated with increased expression of cytostatic efflux proteins (e.g., P-gp, MRP), which contributes to a decrease in intracellular drug concentration and the formation of a resistant phenotype.

Another important observation was the discovery of biomarkers associated with the tumour microenvironment. Increased expression of angiogenesis factors (VEGF) and activation of PI3K/AKT/mTOR signalling pathways correlated with lower efficacy of platinum-based chemotherapy and shorter recurrence-free survival. This indicates the need for a combined treatment approach, including antiangiogenic and targeted agents.

Our results are consistent with previously published data confirming that platinum resistance is a multifactorial process. However, no single biomarker can serve as a universal predictor; instead, their combination can provide more accurate prediction and individualisation of therapy.

In the future, the identification of a panel of platinum resistance biomarkers may become the basis for a personalised treatment strategy for serous ovarian cancer. The implementation of such approaches will not only increase the effectiveness of therapy but also avoid unnecessary toxicity in patients for whom platinum-containing drugs are ineffective.

Conclusion:

1. Platinum resistance is a multifactorial process. The expression of ABCA1 is higher in platinum-resistant cases of ovarian cancer.

2. The most pronounced relationship exists between the values of survivin expression, local activity of nitric oxide, the expression of glutathione dependent enzymes, the content of catecholamines in erythrocytes, and the expression of ABCA1 transporter



References:

1. Epidemiology Working Group Steering Committee, Ovarian Cancer Association Consortium Members of the EWG SC, in alphabetical order:, Doherty JA, Jensen A, Kelemen LE, Pearce CL, Poole E, Schildkraut JM, Terry KL, Tworoger SS, Webb PM, Wentzensen N. Current Gaps in Ovarian Cancer Epidemiology: The Need for New Population-Based Research. J Natl Cancer Inst. 2023 Oct 1; 109(10).
2. Doherty JA, Peres LC, Wang C, Way GP, Greene CS, Schildkraut JM. Challenges and Opportunities in Studying the Epidemiology of Ovarian Cancer Subtypes. Curr Epidemiol Rep. 2017 Sep;4(3):211-220
3. Rybin, A., A. Varabina, and M. Broshkov. ""Epidemiology and management of ovarian cancer based on the clinical experience of the southern region of Ukraine." Georgian Medical News 288 (2019): 32-36.
4. Rybin A, Dubinina V, Kuznetsova O. Personalized managing of the patients with serous ovarian cancer. InINTERNATIONAL JOURNAL OF GYNECOLOGICAL CANCER 2016 Sep 1 (Vol. 26, pp. 35-35). TWO COMMERCE SQ, 2001 MARKET ST, PHILADELPHIA, PA 19103 USA: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS.
5. Kolesnik O.O., Rybin A.I. Predicting the effectiveness of treatment for ovarian cancer patients. Current issues in paediatrics, obstetrics and gynaecology. – 2017. – No. 2. – pp. 40–47. DOI 10.11603/24116-4944.2017.2.8043.
6. Kolesnik O.O., Rybin A.I. Personalised treatment of ovarian cancer patients. Hospital Surgery. Journal named after L. Ya. Kovalchuk. – 2017. - No. 2 (78). – Pp. 5-12. DOI 10.11603/2414-4533.2017.2.7951.
7. Ткаченко О.І., Рибін А.І. Кузнецова О.В. Проспективне дослідження клінічної ефективності диференційованого лікування раку яєчників. Одеський медичний журнал. – 2017. - № 6. – С. 45-51.
8. Bondar, O. V., Rybin, A. I., Maximovskyi, V. E., Kuznetsova, O. V., & Alieva, S. O. (2023). Optimizing of management of the ovarian cancer patients with peritoneal carcinomatosis. Oncology, 25(3), 222-228. DOI: <https://doi.org/10.15407/oncology.2023.03.222>.



9. Rybin A. I., O. V. Kuznetsova, and V. E. Maximovsky. "Modern strategies of surgical treatment of patients with pelvic canceromatosis caused by the ovarian cancer. *Visnyk mors'koyi medytsyny* 2020; 2 (87): 55–61. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3967728>.

10. Rybin A. (2022). Results of personalised treatment of ovarian cancer in patients with peritoneal carcinomatosis // *Reproductive Health of Women*, (7), 35–40. <https://doi.org/10.30841/2708-8731.7.2022.272470>.

11. RYBIN, A., MAKSYMovskyI, V., KUZNETSOVA, O. and ZAMYSHLYAK, V. Personalised treatment of patients with advanced ovarian cancer: comparative analysis of surgical approaches. *Journal of Education, Health and Sport*. Online. 30 June 2025. Vol. 83, p. 64576. DOI 10.12775/JEHS.2025.83.64576.

12. MAKSYMovskyI, V., RYBIN, A. and ZAMYSHLYAK, V. Quality of life in patients with advanced ovarian cancer under personalised treatment: the impact of HIPEC. *Journal of Education, Health and Sport*. Online. 11 August 2025. Vol. 84, p. 64751. DOI 10.12775/JEHS.2025.84.64751.

13. Rybin AI, Maksymovskyj VY, Pyrogov VV, Demidchik RY, Varabina AO. Comparative study of quality of life, adverse effects after cytoreduction and HIPEC in stage IIIA-IIIC ovarian cancer. *J Educ Health Sport* [Internet]. 2018 Oct. 31 8(10):412-7. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2456541>

14. Rybin A.I. The role of proteomic and genetic predictors of survival in ovarian cancer patients. *Clinical Oncology*, 2016, No. 3 (23), pp. 46-48.

15. Prevention of pathological changes in the mammary glands in patients after surgery for uterine fibroids / S.G. Bugaysov, A.I. Rybin, A.E. Suprun // *Oncology*. — 2007. — Vol. 9, No. 2. — Pp. 129–132. <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/20479>.

16. Rybin A. I., Lysenko M. A., Rysina A. I. Features of the sanogenesis system in patients with ovarian cancer resistant to platinum-based chemotherapy. *Collection of scientific works of the Association of Obstetricians and Gynaecologists of Ukraine*. 2014. 1-2. 251-254.



УДК: 616.61-089.843-007.285:616.94-02-053.5:615.37:612.46(048.8)

IMMUNOLOGICAL COMPLEXITY AND SEPSIS-RELATED GRAFT DYSFUNCTION IN A PEDIATRIC KIDNEY TRANSPLANT RECIPIENT: A CASE-BASED REVIEW

ІМУНОЛОГІЧНА ТА СЕПСИС-ПОВ'ЯЗАНА ДИСФУНКЦІЯ ТРАНСПЛАНТАТУ НИРКИ У ДИТИНИ: ОГЛЯД КЛІНІЧНОГО ВИПАДКУ

Vakulenko L./ Вакуленко Л.І.,

MD, SD, Prof./ д.мед. н., проф.

orcid.org/0000-0003-3823-6134

Obolonska O./ Оболонська О.Ю.

MD, PhD, Associate Professor/доц., PhD

orcid.org/0000-0001-9863-1828

Rhenita Rajkumar/ Реніта Раджкumar

MD/ MD

orcid.org/0009-0001-2017-613X

Dnipro State Medical University, , Dnipro, Vernadsky str., 9. 49044

Дніпровський державний медичний університет,

Дніпро, вул. Вернадського, 94904

Medvedska O./ Медведська О.В.

MD/ MD

orcid.org/0009-0007-2173-0503

CE «Regional Medical Center of Family Health» DRC»,

Dnipro, Kosmichna str, 13, 49100,

КЗ «Регіональний медичний центр сімейного здоров'я» ДРЦ»,

Дніпро, вул. Космічна, 13 49100,

Abstract. Pediatric kidney transplantation is a definitive therapeutic intervention for end-stage renal disease, significantly improving both survival and quality of life. However, the procedure comes with unique challenges, primarily due to a child's still-developing immune system. This immaturity often leads to ambiguous immunological responses and a heightened vulnerability to infections. According to statistics, nearly 70% of young kidney transplant recipients experience an infectious complication within the first three years post-transplant. The main challenge for doctors is to find a delicate balance between two conflicting goals: maintaining enough immunosuppression to prevent organ rejection while preserving the immune system's ability to fight off infections. This dilemma is most critical when a patient develops sepsis, an uncontrolled systemic inflammatory response that is a leading cause of death among transplant recipients.

A unique difficulty in pediatric transplantation is the accurate interpretation of immunovirological tests, particularly for the Epstein-Barr virus (EBV) and antinuclear antibodies (ANA). The EBV status is vital because it guides the strategy to prevent post-transplant lymphoproliferative disorder (PTLD), a potentially fatal complication, especially in children who have never been exposed to the virus. However, test results can be misleading due to immune system dysfunction from the underlying end-stage renal disease. For example, a positive VCA IgG antibody result without other markers may be a false positive—a phenomenon known as pseudopositivity—caused by an over-activation of the immune system's B-cells.

The article provides an analysis of the literature on infectious and immunological features of patients with a transplanted kidney and gives an example of a 15-year-old patient with a transplanted kidney from a living donor (mother). The treatment tactics after the development of complications in



the form of sepsis associated with tonsillogenic bacterial carriage are presented. The analysis of the tactics of reducing immunosuppressive therapy and the development of complications in the form of transplant rejection is presented.

Keywords. *Pediatric renal transplantation, sepsis, immunosuppression. EBV pseudopositivity, ANA positivity.*

Introduction.

Pediatric kidney transplantation remains the definitive therapeutic intervention for end-stage renal disease (ESRD), significantly improving survival and quality of life. However, pediatric patients present unique challenges due to their evolving immune systems, frequent immunological ambiguities, and vulnerability to infections. Approximately 70% of kidney transplant recipients experience an infectious episode within the first three years. Immunovirological parameters such as Epstein–Barr virus (EBV) serology and antinuclear antibody (ANA) titers can produce ambiguous or misleading results, complicating clinical decisions and post-transplant management.

Analysis of recent research and publications. A case-based systematic review methodology was employed, combining detailed clinical data from a pediatric renal transplant recipient at Dnipro State Medical University with a comprehensive literature synthesis from PubMed and EMBASE databases (2020–2024). Relevant guidelines from KDIGO, ISOT, IPTA, WHO, and the Polish Transplant Society (PTS) were included for evidence-based recommendations. End-stage renal disease (ESRD) in children necessitates renal replacement therapy, with transplantation being the gold standard due to improved survival, growth, and neurodevelopmental outcomes compared to dialysis [1-3]. However, pediatric patients present a complex immunological milieu shaped by age-related immune maturation, underlying kidney pathology, and comorbidities, which can complicate transplant candidacy and post-transplant care.

The central challenge confronting the medical community is the pursuit of a delicate balance between two critical yet contradictory objectives: maintaining an adequate level of immunosuppression to protect the allograft from rejection and restoring immune function to effectively combat infection. This dilemma becomes most acute in cases where a patient develops sepsis—an uncontrolled systemic inflammatory response to infection that is a leading cause of intensive care unit



admissions and a significant contributor to mortality among kidney transplant recipients. In the first month after transplantation, infections associated with surgery and hospitalization, such as urinary tract infections, wound infections, and pneumonia, predominate. These are often nosocomial in origin. Up to 6 months, during the period of peak immunosuppression, opportunistic infections resulting from reactivation of latent pathogens, particularly cytomegalovirus (CMV), are the most common. After 6 months, immunosuppression usually decreases, but the patient still remains more susceptible to community-acquired infections. Significant challenge in pediatric renal transplantation is the interpretation of immunovirological parameters, particularly Epstein–Barr virus (EBV) serology and antinuclear antibody (ANA) testing. EBV infection status guides prophylactic strategies to prevent post-transplant lymphoproliferative disorder (PTLD), a potentially fatal complication, especially in EBV-naïve recipients receiving T-cell-depleting immunosuppression [4]. However, serological profiles may be confounded by ESRD-related immune dysregulation. In particular, EBV viral capsid antigen (VCA) IgG positivity in the absence of Epstein–Barr nuclear antigen (EBNA) antibodies may reflect false-positive results or pseudopositivity due to polyclonal B-cell activation [5,6].

Similarly, low-titer ANA positivity can occur in pediatric ESRD patients due to uremia-induced immune activation rather than autoimmune disease. Misinterpretation of ANA results may delay transplantation or prompt unnecessary interventions in the absence of systemic lupus erythematosus (SLE) clinical criteria [7–9].

Pre-transplant infectious screening is crucial to detect latent foci such as tonsillitis or dental infections, which can precipitate severe infections post-transplant due to immunosuppression [10–14]. Additionally, vaccination coverage against hepatitis A and B, pneumococcus, and SARS-CoV-2 is critical to reduce infectious morbidity [15–17]. The absence of clear, universal protocols for managing such patients underscores the need for a deep understanding of the pathophysiological mechanisms, an individualized diagnostic approach, and a balanced adjustment of therapy. Immunosuppressive therapy following kidney transplantation is typically administered as a "triple immunosuppression" regimen. This gold-standard approach involves a



combination of three drug classes, each targeting different stages of the immune response, providing a synergistic effect while minimizing adverse reactions [18].

Aims. To present a case of a pediatric patient undergoing living-donor renal transplantation complicated by EBV pseudopositivity, ANA positivity without systemic lupus erythematosus (SLE), and sepsis-related graft dysfunction.

Presentation of the main material. A systematic review of recent literature was conducted to contextualize clinical observations, focusing on immunosuppressive management, vaccination, and infection control strategies.

This report describes a complex pediatric kidney transplant case emphasizing the interplay of ambiguous immunological markers, incomplete vaccination, infectious complications. A systematic review contextualizes these findings and proposes practice recommendations [19-21] . Recommendations of the main guidelines are presented in the (table 1).

Table 1-Dosing of immunosuppressive drugs for sepsis [19-21]

Clinical management stage	Recommendation for calcineurin inhibitors	Recommendation for antimetabolites	Recommendation regarding glucocorticoids
Suspected sepsis	reduce dose by 25-50%	Temporarily pause	Maintain current dose or increase
Septic shock	Temporarily suspend until stabilization	Temporarily pause	Increase to stress doses
Stabilization (after sepsis)	Gradually return to initial dose, monitor levels	Gradually return to initial dose, monitor levels	Gradually reduce the dose to a maintenance dose

This case study describes a 15-year-old girl who experienced neonatal asphyxia, complicated by acute kidney injury (AKI), which likely led to a significant loss of nephrons. Until the age of 15, she had no episodes of kidney dysfunction. After a viral infection, she acutely developed oliguria and an extremely elevated creatinine level (2000 $\mu\text{mol/L}$). The child was admitted to a regional hospital. She received renal replacement therapy (hemodialysis), but kidney function did not recover. Her glomerular filtration rate progressively decreased from 15% to 5%.



Immunovirological Testing: Epstein–Barr virus (EBV) serology: Viral capsid antigen (VCA) IgG, Epstein–Barr nuclear antigen (EBNA). Antinuclear antibodies (ANA): Indirect immunofluorescence; anti-dsDNA for SLE exclusion. Hepatitis panel: Hepatitis A, B, and C. ANA Status Low-titer positive (1:80), speckled pattern; dsDNA negative. Hepatitis Panel HAV vaccinated; HBV and HCV negative.

EBV infection status is critical in transplant recipients due to the risk of PTLT, a malignancy driven by unchecked EBV replication under immunosuppression [4]. The conventional serological assessment includes antibodies against viral capsid antigen (VCA) and Epstein–Barr nuclear antigen (EBNA). Typically, VCA IgG positivity with EBNA positivity indicates past infection and immunity. However, pediatric ESRD patients frequently exhibit EBV pseudopositivity characterized by VCA IgG positivity but absent EBNA antibodies. This phenomenon arises from polyclonal B-cell activation and cross-reactivity induced by chronic immune stimulation and uremic milieu [5,9]. Without confirmatory EBV DNA PCR or p18 antigen testing, false assumptions about immunity may lead to underestimation of PTLT risk and inappropriate immunosuppression adjustments. ANA testing is a cornerstone in diagnosing autoimmune disorders such as SLE. However, ESRD, especially in pediatric patients, can induce low-titer ANA positivity unrelated to systemic autoimmunity [6–8]. Uremic toxins may cause immune dysregulation, leading to nonspecific autoantibody production. The absence of anti-dsDNA antibodies and clinical features of lupus strongly suggests a benign serological finding. This underscores the need to prioritize clinical over serological criteria when evaluating transplant eligibility [10].

A kidney transplant was performed with her mother as the donor. Initially, the postoperative course was stable. She was discharged home a month later on standard triple-drug immunosuppressive therapy (tacrolimus, corticosteroids, mycophenolate) and prophylactic treatment (valganciclovir and cotrimoxazole).

The child's history included episodes of tonsillitis at ages 5–6 y.o., but there were no exacerbations in the last 8 years. Bacterial cultures taken before the operation did not identify any pathogenic flora.



Two months later, the child developed bacterial tonsillitis caused by multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae* and *Staphylococcus aureus*.

The KDIGO and ISOT guidelines recommend a gradual taper of immunosuppressive drugs with the use of a corticosteroid bridge to balance infection control and graft preservation [12–14,20]. However, a gradual taper was not possible due to the development of septic shock. This was considered a recurrence of chronic tonsillitis. In response to the infection, the tacrolimus dose was reduced by 50%, but this did not improve the course of sepsis; septic shock developed. Tacrolimus and mycophenolate were temporarily discontinued. The corticosteroid dose was not changed. This helped improve the septic condition. When the blood tacrolimus level dropped to 0.4 ng/mL, which occurred on the third day after discontinuing the drug, signs of graft rejection appeared—an increase in creatinine level. Rejection was confirmed by biopsy. On the fifth day, the rejection had cytological signs of a chronic type. Tacrolimus and mycophenolate were resumed, followed by another episode of sepsis. Against the background of massive antibacterial therapy, a tonsillectomy was performed. A balance of antibacterial therapy and adjusting the tacrolimus dose to achieve a blood concentration of up to 2 ng/mL, along with a course of prednisone pulse therapy, allowed the child's condition to stabilize. The child was discharged home.

Conclusion.

Pediatric kidney transplantation requires a carefully coordinated approach balancing immunosuppression and infection control. These cases underscore the necessity of comprehensive preoperative infectious evaluation and highlight the potential impact of unrecognized infection history on clinical outcomes. Based on the analysis of this case, we believe that the reduction of the tacrolimus dose in cases of bacterial complications should be around 30%. It is mandatory to increase the dose of corticosteroids, despite the presence of sepsis. The presence of chronic foci of infection should be considered regardless of the time since the last exacerbation (if there are doubts about whether to remove the tonsils or adenoids, they should be removed). EBV serology must be interpreted with adjunctive molecular testing to avoid



misclassification. Low-titer ANA positivity in ESRD should not delay transplantation absent clinical autoimmunity. Pre-transplant infectious screening, comprehensive vaccination, and nuanced immunosuppression management during infections are paramount to improving outcomes. Sudden cessation of calcineurin inhibitors can provoke immune rejection and should be replaced by tapering strategies supported by corticosteroids.

References

1. Winterberg P. D., Garro R. Long-Term Outcomes of Kidney Transplantation in Children. *Pediatric Clinics of North America*. 2019. Vol. 66, № 1. P. 269–280. DOI: 10.1016/j.pcl.2018.09.008.
2. Danziger-Isakov L., Kumar D. Vaccination in solid organ transplantation. *American Journal of Transplantation*. 2013. Vol. 13. Suppl. 4. P. 311–317. DOI: 10.1111/ajt.12122.
3. Hariharan S. et al. Long-term Kidney Transplant Survival Across the Globe. *Transplantation*. 2024. Vol. 108, № 9. P. e254–e263. DOI: 10.1097/TP.0000000000004977.
4. Zhang Y. et al. Characteristics of immunological events in Epstein-Barr virus infection in children with infectious mononucleosis. *Frontiers in Pediatrics*. 2023. Vol. 11. Art. 1060053. DOI: 10.3389/fped.2023.1060053.
5. Martins M. E. C. C. et al. Detection of the Presence of Epstein–Barr Virus and Cytomegalovirus Using Polymerase Chain Reaction in Patients With Chronic Kidney Disease. *Journal of Oral Diagnosis*. 2023. Vol. 8. P. 1–7. DOI: 10.5935/2525-5711.20230220.
6. Hatton O. L. et al. The interplay between Epstein-Barr virus and B lymphocytes: implications for infection, immunity, and disease. *Immunology Research*. 2014. Vol. 58, № 2–3. P. 268–276. DOI: 10.1007/s12026-014-8496-1.
7. Yang X., Lin B., Shen T. Clinical features of renal damage associated with Epstein-Barr virus infection in children. *Frontiers in Pediatrics*. 2023. Vol. 11. Art. 1123941. DOI: 10.3389/fped.2023.1123941.



8. Roger S. D. et al. Long-term safety and efficacy of sodium zirconium cyclosilicate for hyperkalaemia in patients with mild/moderate versus severe/end-stage chronic kidney disease: comparative results from an open-label, Phase 3 study. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2021. Vol. 36, № 1. P. 137–150. DOI: 10.1093/ndt/gfz285.
9. Luderer R. et al. Real-time Epstein-Barr virus PCR for the diagnosis of primary EBV infections and EBV reactivation. *Molecular Diagnosis*. 2005. Vol. 9, № 4. P. 195–200. DOI: 10.1007/BF03260091.
10. Mejdoub S. et al. Antinuclear antibodies in children: clinical signification and diagnosis utility. *La Tunisie medicale*. 2021. Vol. 99, № 10. P. 980–984. PMID: 35288899.
11. Schachtner T., Stein M., Reinke P. Sepsis after renal transplantation: Clinical, immunological, and microbiological risk factors. *Transplant Infectious Disease*. 2017. Vol. 19, № 3. DOI: 10.1111/tid.12695.
12. Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Transplant Work Group. KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *American Journal of Transplantation*. 2009. Vol. 9. Suppl. 3. P. S1–S155. DOI: 10.1111/j.1600-6143.2009.02834.x.
13. Indian Society of Organ Transplantation (ISOT). Pediatric transplant protocols. URL: https://notto.mohfw.gov.in/WriteReadData/Portal/News/858_1_Updated_NOTTO_ANNUAL_REPORT_08-05-24_.pdf (дата звернення: 09.09.2025).
14. Oomen L. et al. Pediatric kidney transplantation in Europe, a clinical snapshot pilot. *Frontiers in Pediatrics*. 2024. Vol. 12. Art. 1432027. DOI: 10.3389/fped.2024.1432027.
15. MacDonald N. et al. Global vaccine action plan lessons learned I: Recommendations for the next decade. *Vaccine*. 2020. Vol. 38, № 33. P. 5364–5371. DOI: 10.1016/j.vaccine.2020.05.003.
16. Moore D. L. Immunization of the immunocompromised child: Key principles. *Paediatr Child Health*. 2018. Vol. 23, № 3. P. 203–205. DOI:



10.1093/pch/pxx180.

17.Casotti V. et al. Vaccinations in Paediatric Solid Organ Transplant Candidates and Recipients. Vaccines (Basel). 2024. Vol. 12, № 9. Art. 952. DOI: 10.3390/vaccines12090952.

18.Park S. et al. European Society of Organ Transplantation Consensus Statement on Testing for Non-Invasive Diagnosis of Kidney Allograft Rejection. Transplantation International. 2024. Vol. 36. Art. 12115. DOI: 10.3389/ti.2023.12115.

19. Furian L. et al. European Consensus on the Management of Sensitized Kidney Transplant Recipients: A Delphi Study. Transplantation International. 2024. Vol. 37. Art. 12475. DOI: 10.3389/ti.2024.12475.

20. Bafi A. T., Tomotani D. Y., de Freitas F. G. Sepsis in Solid-Organ Transplant Patients. Shock. 2017. Vol. 47. Suppl. 1. P. 12–16. DOI: 10.1097/SHK.0000000000000700.

21. Bolaños-Meade J. et al. Three prophylaxis regimens (...) versus tacrolimus and methotrexate for prevention of graft-versus-host disease with haemopoietic cell transplantation with reduced-intensity conditioning: a randomised phase 2 trial with a non-randomised contemporaneous control group (BMT CTN 1203). Lancet Haematology. 2019. Vol.6, №3. P.e132–e143. DOI:10.1016/S2352-3026(18)30221-7.

Анотація. Трансплантація нирки у дітей – це остаточне терапевтичне втручання при термінальній стадії ниркової недостатності, яке значно покращує як виживання, так і якість життя. Однак ця процедура пов'язана з унікальними труднощами, головним чином через те, що імунна система дитини все ще розвивається. Ця незрілість часто призводить до неоднозначних імунологічних реакцій та підвищеної вразливості до інфекцій. Згідно зі статистикою, майже 70% молодих реципієнтів трансплантата нирки переживають інфекційне ускладнення протягом перших трьох років після трансплантації. Головним завданням для лікарів є пошук делікатного балансу між двома суперечливими цілями: підтримка достатньої імуносупресії для запобігання відторгненню органу та збереження здатності імунної системи боротися з інфекціями. Ця дилема є найбільш критичною, коли у пацієнта розвивається сепсис, неконтрольована системна запальна реакція, яка є основною причиною смерті серед реципієнтів трансплантата. Унікальною складністю в дитячій трансплантації є точна інтерпретація імуновірусологічних тестів, особливо на вірус Епіштейна-Барр (ВЕБ) та антинуклеарні антитіла (АНА). Статус ВЕБ є життєво важливим, оскільки він керує стратегією запобігання посттрансплантаційному лімфопроліферативному розладу (ПТЛР), потенційно фатальному ускладненню, особливо у дітей, які ніколи не стикалися з вірусом. Однак результати тестів можуть бути оманливими через дисфункцію імунної системи, спричинену термінальною стадією ниркової недостатності. Наприклад, позитивний результат на антитіла IgG до VCA без інших



маркерів може бути хибнопозитивним — явищем, відомим як псевдопозитивність — спричиненим надмірною активацією В-клітин імунної системи. у статті наводиться аналіз літератури щодо інфекційних та імунологічних особливостей пацієнтів з трансплантованою ниркою та наведено приклад пацієнтки 15 років з трансплантованою ниркою від живого донора (матері). Представлена тактика лікування після розвитку ускладнень у вигляді сепсису, що пов'язаний з тонзилогенним бактеріоносіємством. Аналіз тактики зниження імуносупресивної терапії та розвиток ускладнень у вигляді відторгнення трансплантату.

Ключові слова. Дитяча трансплантація нирки, сепсис, імуносупресія. псевдопозитивність EBV, позитивність ANA.



УДК 616.248+616-056.257:615.851:614.253.4

BRONCHIAL ASTHMA AND OBESITY: OPPORTUNITIES FOR INTEGRATING QUESTIONNAIRES INTO FAMILY PHYSICIAN CLINICAL PRACTICE

БРОНХІАЛЬНА АСТМА ТА ОЖИРІННЯ: МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ОПИТУВАЛЬНИКІВ У КЛІНІЧНУ ПРАКТИКУ СІМЕЙНОГО ЛІКАРЯ

Lahoda D.O. / Лагода Д.О.*PhD, Associate Professor / доктор філософії з медицини, доцент**ORCID: 0000-0003-0783-6225***Nazarian V.M. / Назарян В.М.***Assistant Professor / асистент кафедри**ORCID: 0000-0002-2890-6504***Danylchuk H.O. / Данильчук Г.О.***PhD, Associate Professor / к.мед.н., доцент**ORCID: 0000-0002-5247-7164**Odessa National Medical University, Odessa, Valikhovsky Lane 2, 65000**Одеський національний Медичний університет, Одеса, Валіховський пров., 2, 65000*

Анотація. У роботі досліджено вплив надмірної маси тіла та ожиріння на перебіг бронхіальної астми (БА) та оцінено ефективність використання опитувальників ACQ, AQLQ і IWQOL-Lite у первинній ланці медичної допомоги. Обстежено 285 пацієнтів із БА, з яких 216 мали надмірну масу тіла. У пацієнтів основної групи виявлено достовірно вищі значення ІМТ, обводу талії, вісцерального жиру. За результатами ACQ встановлено гірший контроль перебігу БА у пацієнтів з ожирінням. AQLQ та IWQOL-Lite засвідчили знижену якість життя у коморбідних хворих, зокрема за показниками фізичної активності, самооцінки та соціального функціонування. Запропоновано впровадження комплексної оцінки з використанням зазначених опитувальників у практику сімейного лікаря для об'єктивізації стану пацієнтів із БА на тлі ожиріння.

Ключові слова: бронхіальна астма, ожиріння, коморбідна патологія, контроль захворювання, опитувальники.

Вступ. Бронхіальна астма (БА) залишається однією з провідних проблем охорони здоров'я, що підтверджується даними міжнародних звітів та сучасних настанов. Відповідно до GINA 2024, поширеність астми не зменшується, а захворювання істотно впливає на якість життя та функціональну активність пацієнтів, зумовлюючи високий рівень інвалідизації та економічних витрат [1]. Аналіз глобального тягаря хвороб (GBD) за 2023 рік засвідчив стабільно високий рівень поширеності БА, особливо серед дітей 5–9 років, та вагомий внесок у втрату років здорового життя (DALY) [2]. Прогностичні моделі до 2050 року підтверджують, що астма залишатиметься суттєвою проблемою для системи охорони здоров'я в усьому світі [3].



Особливу увагу привертає коморбідність астми з ожирінням. Доведено, що надлишкова маса тіла (НадМТ) або ожиріння погіршують контроль БА, знижують ефективність терапії, підвищують ризик загострень і госпіталізацій [4,5]. Механізми цього взаємозв'язку включають механічні фактори (обмеження вентиляції легень), метаболічні зміни, хронічне системне запалення та імунологічні зсуви. Останні систематичні огляди 2023–2025 рр. підтвердили, що зниження маси тіла (МТ) сприяє покращенню функції легень (зокрема FEV₁) та рівня контролю БА, що обґрунтовує необхідність інтеграції менеджменту МТ у комплексний підхід до лікування БА [6–8].

В умовах первинної ланки, де сімейний лікар стикається з пацієнтами із множинними коморбідностями, особливого значення набуває використання стандартизованих опитувальників. Вони дозволяють об'єктивізувати суб'єктивні скарги, підвищують якість моніторингу перебігу захворювання та сприяють прийняттю клінічних рішень. Згідно з сучасними рекомендаціями, для оцінки контролю астми доцільним є використання Asthma Control Test (АСТ) та Asthma Control Questionnaire (АСQ), валідованих у численних дослідженнях та рекомендованих для застосування в амбулаторній практиці [9,10]. Ці інструменти є простими у виконанні (1–3 хв), що дозволяє ефективно використовувати їх під час прийому.

Для оцінки якості життя пацієнтів із БА на тлі НадМТ або ожиріння доцільно додатково застосовувати IWQOL-Lite (Impact of Weight on Quality of Life-Lite) — опитувальник, специфічний такої категорії пацієнтів. Нещодавні психометричні дослідження підтвердили його високу надійність, структурну та конвергентну валідність [11]. Таким чином, комбінація АСQ з IWQOL-Lite забезпечує комплексну оцінку стану пацієнтів, дозволяючи розмежувати внесок астми та ожиріння у зниження якості життя й обґрунтовуючи необхідність мультидисциплінарного підходу у веденні таких хворих.

Метою дослідження було: дослідити можливості інтеграції опитувальників у клінічну практику сімейного лікаря для пацієнтів з бронхіальною астмою на тлі надмірної маси тіла або ожиріння



Матеріали та методи дослідження. За дизайном дослідження було обстежено 285 пацієнтів з основним діагнозом БА. Пацієнти з НадМТ або ожирінням увійшли до основної групи. До групи порівняння увійшло 69 пацієнтів, зі здоровою масою тіла.

Перед початком дослідження пацієнти були поінформовані щодо дослідження та обов'язковим було підписання інформованої згоди пацієнта. Дослідження проводилось згідно до критеріїв включення/виключення. Де критерії включення були: згода на участь у дослідженні, вік 18–60 років, НадМТ або ожиріння, персистуюча БА різного ступеня тяжкості перебігу. Виключення: відмова від участі у дослідженні, наявність гострої інфекції, гострої соматичної патології та декомпенсації будь-якої соматичної супутньої патології, ендокринологічне ожиріння, метаболічний синдром, онкологічна патологія, психічні розлади, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), БА у стадії загострення.

Дослідження виконувалось на кафедрі сімейної медицини, загальної практики Одеського національного медичного університету, конфлікт інтересів відсутній. Робота виконана у рамках запланованого НДР кафедри: «Особливості лікування та реабілітації розповсюджених захворювань терапевтичного профілю у пацієнтів з надмірною масою тіла в практиці сімейного лікаря». Фінансування: власний кошт автора, зовнішнє фінансування відсутнє. Конфлікт інтересів відсутній.

Окрім клінічного обстеження, данні яких представлено в наших інших публікаціях, пацієнтам у межах надання первинної медичної допомоги було запропоновано пройти опитувального, а саме ACQ (Asthma Control Questionnaire), Asthma Quality of Life Questionnaire (AQLQ) та IWQOL-Lite (Impact of Weight on Quality of Life-Lite).

Опитувальник AQLQ застосовується з метою оцінки якості життя у пацієнтів із бронхіальною астмою. Складається з 32 питання в 4 доменах (симптоми, емоційне самопочуття, фізичні обмеження, вплив на щоденне життя) та є рекомендований для поглибленої оцінки, особливо у випадках складного



перебігу.

Хотілось би більш детально висвітлити опитувальник Obesity-specific Quality of Life Questionnaire (IWQOL-Lite). Це опитувальник, специфічний для оцінки впливу надмірної ваги / ожиріння на якість життя (health-related quality of life, HRQoL). Опитувальним має 31 питання, які охоплюють 5 доменів (сфер):

1. Physical Function (фізична функція) — 11 питань
2. Self-Esteem (самооцінка) — 7 питань
3. Sexual Life (статеве життя) — 4 питання
4. Public Distress (громадський/соціальний дискомфорт, як-от сором, стигма, публічні зауваження) — 5 питань
5. Work (робота / продуктивність) — 4 питання

Питання, як правило, формулюються типу «Через мою вагу ...» і відповіді даються по п'ятибальній шкалі, наприклад: від «ніколи не є правдою» до «завжди є правдою».

Перевагами даного опитувального є змога захопити специфічний вплив МТ (який може бути надто важливим для таких пацієнтів): дискомфорт, обмеження рухливості, самовідчуття, соціальні бар'єри; Комплементує інші опитувальники БА — наприклад, опитувальник контролю астми може не «бачити» як МТ впливає на якість життя, мобільність і соціальні стосунки; може бути чутливим до змін, якщо пацієнт знижує МТ або змінює спосіб життя — що важливо, бо ожиріння може погіршувати перебіг БА.

Статистичні методи включали аналіз з використанням параметричних та непараметричних методів, за допомогою ліцензійованого програмного забезпечення.

Результати дослідження:

За дизайном дослідження було обстежено 285 пацієнтів з основним діагнозом БА, середній вік яких становив $(38,21 \pm 2,35)$ років, із них 112 жінок та 173 чоловіки. За даними антропометричного дослідження, 216 пацієнтів мали НадМТ або ожиріння з середнім ІМТ $(31,67 \pm 0,53)$ кг/м². Пацієнти з НадМТ або ожирінням увійшли до основної групи. До групи порівняння увійшло 69



пацієнтів, середній вік яких був ($37,72 \pm 1,67$) років зі ЗдМТ, а саме ІМТ ($23,67 \pm 0,46$) $\text{кг}/\text{м}^2$. Більш детальні дані антропометричного обстеження пацієнтів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1- Антропометричні показники в обстежених пацієнтів у залежності від ступеня тяжкості перебігу бронхіальної астми

Група	ІМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$	Обвід талії, см	Жирова маса, %	Талія/стегна	Вісцеральний жир, %
Основна	$31,67 \pm 0,53^*$	$108,51 \pm 2,32^*$	$36,83 \pm 1,92^*$	$0,98 \pm 0,04^*$	$13,61 \pm 1,24^*$
Порівняння	$23,67 \pm 0,46$	$82,43 \pm 1,83$	$22,14 \pm 1,53$	$0,84 \pm 0,03$	$6,84 \pm 0,93$

Примітка: $*p < 0,05$.

У таблиці наведено антропометричні характеристики пацієнтів із бронхіальною астмою залежно від наявності надмірної маси тіла або ожиріння. Пацієнти основної групи (з НадМТ/ожирінням, $n = 216$) мали достовірно вищі показники ІМТ ($31,67 \pm 0,53 \text{ кг}/\text{м}^2$ проти $23,67 \pm 0,46 \text{ кг}/\text{м}^2$ у групі порівняння, $p < 0,05$), обводу талії ($108,51 \pm 2,32 \text{ см}$ проти $82,43 \pm 1,83 \text{ см}$, $p < 0,05$), відсотка жирової маси ($36,83 \pm 1,92\%$ проти $22,14 \pm 1,53\%$, $p < 0,05$) та вісцерального жиру ($13,61 \pm 1,24\%$ проти $6,84 \pm 0,93\%$, $p < 0,05$). Крім того, співвідношення талія/стегна у пацієнтів основної групи також було вищим ($0,98 \pm 0,04$ проти $0,84 \pm 0,03$, $p < 0,05$).

Ці результати свідчать, що пацієнти з БА та надмірною масою тіла чи ожирінням мають значно вираженіші метаболічні порушення, що потенційно впливає на перебіг захворювання та якість життя.

Нашим пацієнтам було запропоновано пройти опитувальник АСQ для визначення чи контролюють вони перебіг БА (рисунок 1).

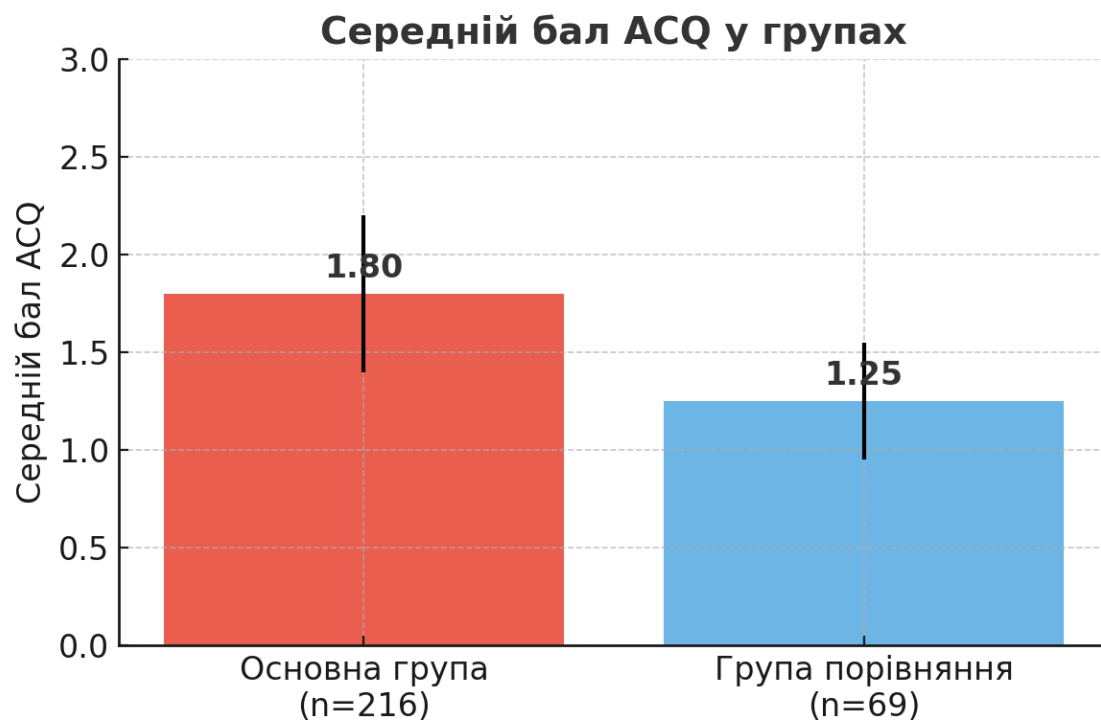


Рисунок 1. Результати опитувальника АСQ у пацієнтів обстежених груп.

На рисунку 1 видно, що пацієнти основної групи з ожирінням мають значно гірший контроль перебігу БА, ніж пацієнти зі ЗдМТ ($p < 0,05$). Це підкреслює, що пацієнти, які мають поєднану патологію БА + ожиріння мають більш неконтрольований перебіг БА.

Пацієнти проходили опитувальник AQLA та ми отримали результати наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати опитувальника AQLQ у пацієнтів з бронхіальною астмою

Група	Симптоми	Емоційна сфера	Фізична активність	Соціальні обмеження	Загальний бал
Основна	4,12*	5,23	3,94*	5,32	4,64*
Група порівняння	5,21	5,52	5,06	5,46	5,35

Примітка: * $p < 0,05$.



За результатами оцінки якості життя за допомогою опитувальника AQLQ, що наведено у таблиці 2 було встановлено, що пацієнти з НадМТ або ожирінням мали достовірно нижчі показники за всіма доменами порівняно з пацієнтами із ЗдМТ. Зокрема, у пацієнтів основної групи нижчими були середні бали за шкалами «симптоми» (4,12 проти 5,21), «фізична активність» (3,94 проти 5,06). Загальний бал AQLQ у пацієнтів з БА і ожирінням також був суттєво зниженим (4,64 проти 5,35 відповідно, $p < 0,05$).

Отримані дані свідчать про значний негативний вплив НадМТ або ожиріння на якість життя хворих на бронхіальну астму, що підкреслює необхідність комплексного підходу з урахуванням контролю МТ.

Пацієнти з БА та ожирінням мали суттєво нижчі показники за всіма доменами IWQOL-Lite (фізична функція, самооцінка, статеве життя, соціальний дискомфорт, робота) порівняно з пацієнтами зі ЗдМТ. Найбільш виражені відмінності виявлені у сферах фізичної функції та самооцінки, що свідчить про значний вплив надмірної маси тіла на обмеження повсякденної активності, психологічне благополуччя та соціальну взаємодію (рисунк 2).

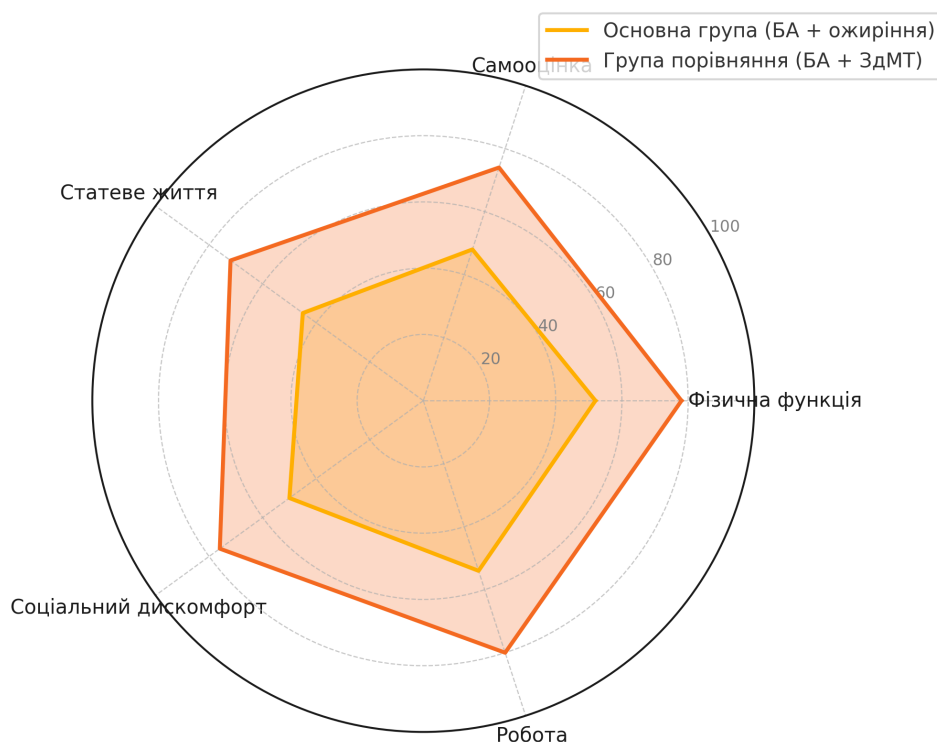


Рисунок 2. Якість життя у пацієнтів з бронхіальною астмою за результатами опитувальника IWQOL-Lite



Тож, з огляду на вищезазначене, на нашу думку є доцільним впровадження даних опитувальників у практику сімейного лікаря задля оптимізації об'єктивної оцінки перебігу БА у коморбідних пацієнтів.

Висновки:

1) Пацієнти з БА та ожирінням мали достовірно вищі антропометричні показники ризику: обвід талії $108,51 \pm 2,32$ см проти $82,43 \pm 1,83$ см, відсоток жирової маси $36,83 \pm 1,92\%$ проти $22,14 \pm 1,53\%$, вісцеральний жир $13,61 \pm 1,24\%$ проти $6,84 \pm 0,93\%$ ($p < 0,05$).

2) За даними опитувальника ACQ, пацієнти основної групи з ожирінням мали значно гірший контроль перебігу БА порівняно з пацієнтами зі збереженою масою тіла ($p \leq 0,05$), що свідчить про більш неконтрольований перебіг захворювання у коморбідних пацієнтів.

3) Оцінка якості життя показала, що пацієнти з БА та ожирінням мали достовірно нижчі показники за AQLQ (симптоми — 4,12 проти 5,21; фізична активність — 3,94 проти 5,06; загальний бал — 4,64 проти 5,35; $p < 0,05$) та за всіма доменами.

4) IWQOL-Lite, з найбільш вираженими відмінностями у сферах фізичної функції та самооцінки. Це підтверджує значний негативний вплив надмірної маси тіла на перебіг БА та якість життя пацієнтів.

Перелік використаної літератури

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. – 2024.
2. Wang Z, et al. Global, regional, and national burden of asthma, 1990–2019: analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 // Respiratory Research. – 2023.
3. Vollset S.E., et al. Future burden of non-communicable diseases: Global Burden of Disease study projections to 2050 // Lancet. – 2024.
4. Tashiro H., et al. Obesity-related asthma: epidemiology and pathophysiology // Respiratory Investigation. – 2024.
5. American Thoracic Society. State-of-the-Art Review: Asthma and Obesity //



American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2024.

6. Foer D., et al. Weight loss interventions improve asthma outcomes: systematic review. – 2023.

7. Farhangi M.A., et al. The impact of weight reduction on asthma control: systematic review and meta-analysis. – 2025.

8. Global Initiative for Asthma. GINA 2024 report: Comorbidities and risk modification. – 2024.

9. Gutierrez C.G., et al. Validation of ACT and ACQ in clinical practice // Annals of Allergy, Asthma & Immunology. – 2024.

10. Sousa-Pinto B., et al. Digital health monitoring and validated questionnaires in asthma // Lancet Digital Health. – 2023.

11. Liu X., et al. Psychometric validation of the IWQOL-Lite in adults with obesity // Health and Quality of Life Outcomes. – 2024.

12. Liu X., Hong T., Luo C., et al. Evaluation of measurement properties of the Impact of Weight on Quality of Life-Lite (IWQOL-Lite) instrument among Chinese overweight and obese populations // Health and Quality of Life Outcomes. – 2024. – Vol. 22. – P. 96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12955-024-02313-3>.

13. National Center for Biotechnology Information. Asthma. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK565447/> (accessed: 14 Sep. 2025).

14. Lahoda D., Maznichenko I., Neziraj J. Studies of asthma control in patients with metabolic syndrome // World Science. – 2024. – No. 4 (86). DOI: [https://doi.org/10.31435/ws.4\(86\).2024.2929](https://doi.org/10.31435/ws.4(86).2024.2929).

15. Lahoda D. Alternative Ways to Improve Asthma Control in Obese Patients // Medical Research Archives. – 2022. – Vol. 10, No. 11. – Nov. ISSN 2375-1924. Available at: <https://esmed.org/MRA/mra/article/view/3359> (accessed: 14 Sep. 2025). DOI: <https://doi.org/10.18103/mra.v10i11.3359>.

Reference

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. – 2024.

2. Wang Z, et al. Global, regional, and national burden of asthma, 1990–2019: analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 // Respiratory Research. – 2023.



3. Vollset S.E., et al. Future burden of non-communicable diseases: Global Burden of Disease study projections to 2050 // Lancet. – 2024.
4. Tashiro H., et al. Obesity-related asthma: epidemiology and pathophysiology // Respiratory Investigation. – 2024.
5. American Thoracic Society. State-of-the-Art Review: Asthma and Obesity // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2024.
6. Foer D., et al. Weight loss interventions improve asthma outcomes: systematic review. – 2023.
7. Farhangi M.A., et al. The impact of weight reduction on asthma control: systematic review and meta-analysis. – 2025.
8. Global Initiative for Asthma. GINA 2024 report: Comorbidities and risk modification. – 2024.
9. Gutierrez C.G., et al. Validation of ACT and ACQ in clinical practice // Annals of Allergy, Asthma & Immunology. – 2024.
10. Sousa-Pinto B., et al. Digital health monitoring and validated questionnaires in asthma // Lancet Digital Health. – 2023.
11. Liu X., et al. Psychometric validation of the IWQOL-Lite in adults with obesity // Health and Quality of Life Outcomes. – 2024.
12. Liu X., Hong T., Luo C., et al. Evaluation of measurement properties of the Impact of Weight on Quality of Life-Lite (IWQOL-Lite) instrument among Chinese overweight and obese populations // Health and Quality of Life Outcomes. – 2024. – Vol. 22. – P. 96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12955-024-02313-3>.
13. National Center for Biotechnology Information. Asthma. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK565447/> (accessed: 14 Sep. 2025).
14. Lahoda D., Maznichenko I., Neziraj J. Studies of asthma control in patients with metabolic syndrome // World Science. – 2024. – No. 4 (86). DOI: [https://doi.org/10.31435/ws.4\(86\).2024.2929](https://doi.org/10.31435/ws.4(86).2024.2929).
15. Lahoda D. Alternative Ways to Improve Asthma Control in Obese Patients // Medical Research Archives. – 2022. – Vol. 10, No. 11. – Nov. ISSN 2375-1924. Available at: <https://esmed.org/MRA/mra/article/view/3359> (accessed: 14 Sep. 2025). DOI: <https://doi.org/10.18103/mra.v10i11.3359>.

Abstract. *This study explores the impact of overweight and obesity on the course of bronchial asthma (BA) and evaluates the effectiveness of using the ACQ, AQLQ, and IWQOL-Lite questionnaires in primary healthcare settings. A total of 285 patients with BA were examined, of whom 216 were overweight. Patients in the main group showed significantly higher BMI, waist circumference, and visceral fat levels. According to the ACQ results, asthma control was poorer in patients with obesity. The AQLQ and IWQOL-Lite indicated reduced quality of life in comorbid patients, particularly in physical activity, self-esteem, and social functioning domains. The study proposes integrating these questionnaires into family practice to objectively assess the condition of patients with BA and obesity.*

Keywords: *bronchial asthma, obesity, comorbid pathology, disease control, questionnaires.*

Статтю надіслано: 17.09.2025 р.

© Лагода Д.О.



УДК 615.014.2:615.451.3.322:616.594.12

PHARMACEUTICAL DEVELOPMENT OF A SCALP LOTION BASED ON CAPSICUM

Hrynovets I.S. / Гриновець І.С

PhD, Associate professor,

ORCID: 0000-0003-1727-526

Strepko I.I./ Стрепко І.І.

Master of Pharmacy,

5-th year of study

Department of Drug Technology and Biopharmaceutics,
Danylo Halytsky Lviv National Medical St. Pekarska, 69, Lviv, Ukraine.

Abstract. Excessive hair loss (alopecia) is a common aesthetic and medical defect in both men and women. It can be caused by various etiological factors: stress, hormonal abnormalities, improper nutrition or hair care. One of the well-known components in various remedies for baldness is capsicum (*Capsicum annuum*), which contains capsaicin as an active ingredient - a stimulator of the capillary bed of the scalp, which additionally strengthens the bulbs of hair follicles and promotes hair growth. An adult healthy person has about 80-150 thousand hairs on their head, which are in the growth phase or in a state of rest or loss. Normally, we lose dozens of hairs every day, while the volume of our hairstyle does not change. An increase in the number of hairs that fall out can lead to bald spots, which indicates alopecia. According to statistics, more than 60% of the population at different periods of life are faced with this pathology. The features of the skin barrier require careful selection of the composition of the prescription components and often the inclusion of special enhancers (penetrants) in their formula, which temporarily modify the properties of the stratum corneum to ensure effective penetration of active substances (Fig. 1).

Excessive hair loss (alopecia) is a very common problem, both aesthetic and medical, which often occurs in both men and women. It can manifest itself due to various etiological factors: - nervous (emotional) stress; - hormonal abnormalities; - inadequate nutrition; - increased body temperature, which causes excessive sweat and sebum secretion (this creates favorable conditions for the reproduction of bacteria); - negative influence of certain medications; - smoking and excessive alcohol consumption; - imbalance of skin microflora; - genetic disorders or improper hair care are shown in (Fig. 2)

Keywords: Alopecia, capsaicin, hair loss, capsicum, microcirculation, hair follicles, pharmaceutical development, lotion.



Possible ways of penetration of active substances through the layers of the epidermis

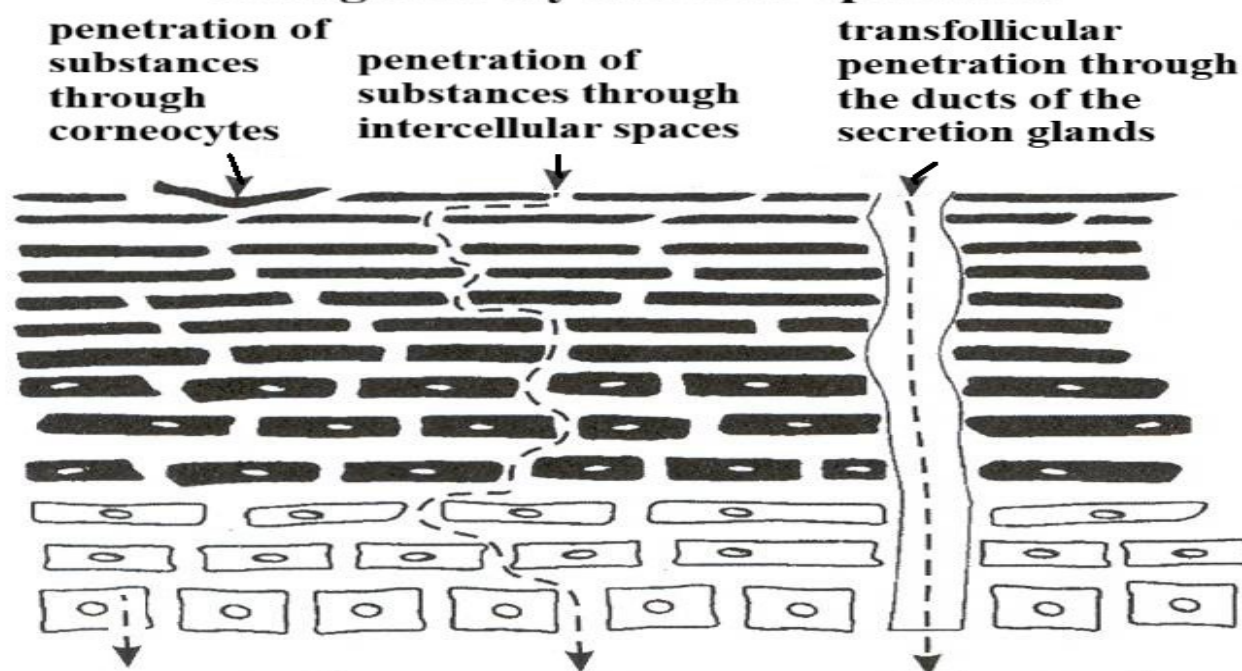


Figure 1. Possible pathways for active substances to penetrate through the layers of the epidermis.

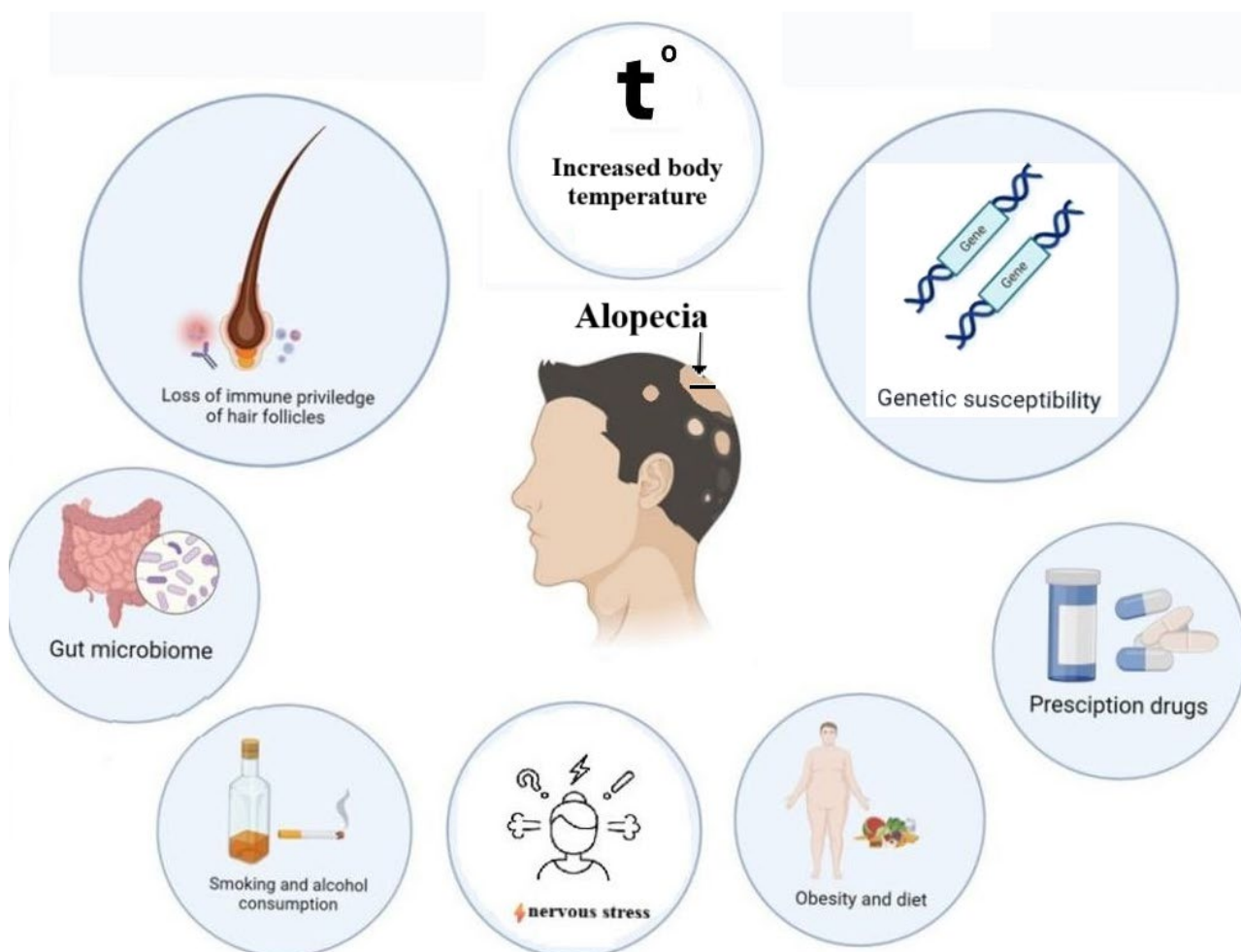


Figure 2 - Factors that may influence the development of alopecia.



Introduction.

Alopecia is a pathological condition that manifests itself in excessive hair loss or complete hair loss. It is not life-threatening, but it negatively affects the psychological state. [3]

According to statistics, about 40% of the world's population suffers from alopecia, and with age its manifestations are observed in 90% of people. In men, the first symptoms appear at the age of 30, in women - after 50 years.[2]

Classification of alopecia

1. Androgenic – the most common form, caused by heredity and hormonal disorders. In men, it is formed according to the male pattern (baldness on the forehead and crown), in women – according to the female pattern (uniform hair loss in the parietal zone).
2. Cicatricial – occurs as a result of injuries, burns, inflammatory processes or autoimmune diseases. The follicles are damaged and hair growth cannot be restored.
3. Focal (nest) – hair loss in limited areas, sometimes with loss of eyebrows and eyelashes; has an autoimmune nature.
4. Seborrheic – associated with seborrheic dermatitis, accompanied by dandruff, itching and inflammation of the scalp.
5. Traumatic – the result of mechanical or chemical damage to the hair, thermal burns, tight hairstyles or mental disorders (trichotillomania).
6. Telogen – the transition of a large part of the follicles into the resting phase under the influence of stress, vitamin deficiency, illness or after childbirth.
7. Anagen – sharp hair loss in the growth phase, usually after chemotherapy; growth is restored after treatment.
8. Involutional – age-related thinning of hair due to the natural transition of follicles into a resting state. [3]

Today, the pharmaceutical and cosmetic industries offer the following remedies for alopecia (Fig. 3).

Today, the current trend is the search for safe and effective means for the prevention and treatment of hair loss. One of the well-known components in various means for baldness is capsicum (*Capsicum ann.*), which contains capsaicin as an active component - a stimulator of the capillary bed of the scalp, which additionally strengthens the bulbs of hair follicles and promotes hair growth (Fig. 4).[4]



Зовнішні засоби проти алопеції (лосьйони, ампули)

Назва препарату / засобу	Виробник	Активна речовина / комплекс	Особливості застосування
Regaine / Rogaine / Alopecy	Johnson & Johnson / Pierre Fabre	Міноксидил 2% або 5%	Єдиний доказовий засіб; наноситься 1–2 рази на день, тривале використання.
Kirkland Minoxidil	Kirkland Signature (Costco, США)	Міноксидил 5%	Аналог Regaine, більш доступний; у вигляді розчину та піни.
Dercos Aminexil Clinical 5	Vichy (L'Oréal)	Амінексил + вітаміни B, аргінін	Ампули; зміцнює волосся, зменшує фіброз навколо цибулин.
Kérastase Densifique	Kérastase (L'Oréal)	Stemoxidyne	Ампули-лосьйони; «пробуджує» сплячі фолікули.
Neogenic	Vichy (L'Oréal)	Stemoxidyne	Аналогічно до Kérastase; курсом 3 місяці.
Triphasic Reactional/Progressive	René Furterer (Pierre Fabre)	Екстракти рослин, пептиди, вітаміни	Ампули; зміцнення та стимуляція росту.
Phytolium 4	Phyto (Франція)	Рослинні екстракти + пептиди	Ампули-лосьйони, курсова терапія.
Alpecin Liquid	Dr. Wolff (Німеччина)	Кофеїн, ніацинамід, ментол	Лосьйон-«тонік»; стимулює мікроциркуляцію.
Реп'яхова олія з перцем	(різні виробники, аптечні/косметичні)	Рослинні олії + екстракт перцю	Народний та косметичний догляд, допоміжний засіб.

Figure 3 - External remedies for alopecia on the global market. [2]



Figure 4 - Local application of capsicum

In order to improve the method of treating a disease such as alopecia, we have carried out a pharmaceutical development of a liquid product in the form of a lotion, which should be used externally - by applying and then (lightly) rubbing into the scalp in areas of hair loss. Thus, the composition of the lotion includes: [9],[10].

Rp: Capsicum tincture (70%) 5 ml

Caffeine sodium benzoate 0.5

Propylene glycol 10 ml

Glycerine 5 ml



Sol. Nicotinic acid (1%) 1 ml

Aloe oil extract 5 ml

Menthol 0.1

Triclosan 0.3

Ethanol 70% 6.5 ml

Methylcellulose (2%)

Water ~51–55 ml [9]

Justification of the components of the prescription. Selection of active components included in the lotion: As an active substance, a component known in cosmetology and dermatology practice was used - alcoholic tincture of capsicum. The main active element in the composition of capsicum tincture is capsaicin. Which: Activates TRPV1 receptors (transient potential receptors, subtype vanilloid1) of the skin, leading to the release of CHRP (Chromatin Remodeling Protein - a protein associated with the regulation of calcium metabolism), which stimulates the increase in IGF-1 (Insulin-like Growth Factor - insulin-like growth factor-1) in hair follicles, activates the hair growth phase. Improves blood circulation, dilates capillaries, thus enhancing the nutrition of hair follicles. Stimulates blood circulation, activates proliferation processes. A minor drawback of Capsaicin (which can be regulated by the composition of the prescription) is that this substance can cause excessive irritation, burning and dryness on the surface of the skin. Thus, capsaicin requires a combination with substances that reduce its excessive local activity, for example by adding emollients such as: panthenol, menthol, oils, etc. The next active component in the prescription is - Caffeine sodium benzoate, the mechanism of action of which is to block 5-alpha-reductase - an enzyme that converts testosterone into dihydrotestosterone, which causes androgenic alopecia. Improves microcirculation, ensures the supply of oxygen and nutrients to hair follicles. Extends the hair growth phase (anagen), reducing hair loss. And also provides a high level of penetration of all components of the prescription and prolongation of the growth phase at the cellular level, directly affects the hair follicles, activates energy processes.

Inhibits the action of dihydrotestosterone (DHT), prolongs the anagen phase.[7]



The combination of capsaicin and caffeine - causes a synergistic effect, as a result of which the growth of new hair is accelerated. As auxiliary and corrective components of the lotion composition, the following substances are also included: Nicotinic acid (Vit. B3) which dilates capillaries, improves blood supply to follicles, strengthens hair, reduces hair loss, has a vasodilating effect. Niacin in the composition of Vitamin B3 - improves circulation and nutrition, while not having hormonal side effects. In combination with capsaicin, both components stimulate blood circulation, but act through different mechanisms (capsaicin - through a neurogenic irritant effect, and nicotinic acid - through direct vasodilation). Together they provide a prolonged and uniform effect of improving microcirculation.

Menthol is included in the lotion because this substance interacts with ion channels in the nerve endings of the skin, causing a feeling of coolness. This leads to reflex vasodilation (vasodilation) after a short-term spasm, which stimulates local blood circulation. By affecting sensory neurons, menthol reduces the skin's sensitivity to stimuli. It is used as a light local anesthetic, which reduces discomfort after exposure to stimuli. It has a tonic effect. Provides a cooling effect and reduces the excessively irritating effect of capsicum.

Panthenol (Vit B5). Panthenol easily penetrates the stratum corneum of the epidermis and binds to hair keratin. In tissues, it is oxidized to pantothenic acid - an essential coenzyme that participates in cellular metabolism. It has hygroscopic properties, retains moisture inside the hair and scalp (moisturizer). Makes hair more elastic, reduces brittleness, promotes shine. Regenerates the skin, reduces redness, itching and peeling. Used for dermatitis and local skin irritations. As a component of the coenzyme, it participates in the synthesis of fatty acids and acetylation, which is important for the restoration of skin cells and follicles. Has a regenerating and anti-inflammatory effect.

Hyaluronic acid in the lotion – maintains scalp moisture, improves hair follicle condition, reduces irritation and inflammation. Due to its ability to retain moisture and improve skin structure, hyaluronic acid promotes better absorption of other lotion components. Lavender essential oil – strengthens hair follicles, has an antiseptic effect,



promotes hair growth and prevents hair loss. Fights dandruff and dryness on the skin surface, regulates sebum production, locally reduces irritation, stimulates hair nutrition and growth. The following excipients are included in the lotion: castor oil – stimulates hair growth, has antiseptic properties, moisturizer; glycerin – moisturizer, solubilizer, keratolytic; ethanol at a concentration of 10-15% – preservative, enhancer of the action of capsicum and superficial tanning. Sodium carboxymethylcellulose: as a rheological properties co-agent and surface softener. Purified water is the solvent. [7],[9],[10].

Lotion Technology The pharmaceutical development of alopecia lotion involved step-by-step manufacturing. (Table 1)

Table 1 - Step-by-step manufacturing of alopecia lotion. [6],[7].

Raw materials, intermediate products and materials	Manufacturing stages (follow)	Temperature and process control
Purified water + methylcellulose (2%)	Stage 1. Preparation of methylcellulose gel	Room temperature (20-25°C). Swelling time – until complete gelation
Glycerin + propylene glycol	Stage 2. Preparation of water-glycerin solution	20-25°C, control of complete dissolution
Methylcellulose gel + water-glycerol solution	Stage 3. Mixing the base (substances from stages 1 and 2)	Visual control of homogeneity
Dissolution of caffeine-sodium benzoate	Stage 4. Dissolution of caffeine in a water-alcohol mixture with stirring	60-70°C – complete dissolution without sediment.
Dissolution of nicotinic acid (1% solution)	Stage 5. Adding nicotinic acid to the mixture after cooling	35-40°C – to preserve biological activity
Panthenol + hyaluronic acid	Stage 6. Introduction of water-soluble substances. Panthenol + hyaluronic acid + cooled base.	35-40°C - so as not to destroy the structure.
Capsicum tincture (70%)	Stage 7. Introduction of capsicum alcohol tincture	35-40°C, uniformity control
Menthol + lavender essential oil + castor oil	Stage 8. Introduction of fat-soluble substances	35-40°C, control of complete dissolution Control of odor and uniformity
Triclosan	Stage 9. Dissolution in the alcohol part	20-30°C, uniformity control
Preparation of the final solution	Stage 10. Sequentially combine: gel base + caffeine sodium benzoate + nicotinic acid + panthenol, hyaluronic acid + pepper tincture + menthol, lavender essential oil, castor oil + triclosan + alcohol + water to adjust the volume.	Homogenization 15-20 minutes, control pH (5.0-6.0) transparency, odor, alcohol content
Finished product	Stage 11. Packaging, labeling	Storage stability, microbiological purity. Release quality control



At the beginning of the production process: a water-glycerol solution is made, a sodium carboxymethylcellulose gel is made, which after swelling of the gelling agent is mixed together, and to which d-panthenol, nicotinic and hyaluronic acids, caffeine sodium benzoate are added. To this mixture of water-soluble components, with the mixer running at low speed, an alcoholic tincture of capsicum is added, as well as fat-soluble components lavender essential oil, castor oil, menthol. Homogenization is carried out for 15–20 minutes.[9]

Next, the resulting solution is checked for compliance with quality characteristics - quality control: • Organoleptic control - transparency, color, smell. • Physico-chemical indicators - pH (optimally 5.0–6.0), alcohol content, storage stability. • Microbiological purity - compliance with the requirements of the State Sanitary Rules and Norms (DSanPiN) for cosmetic and preventive products. (Table 2)

Table 2 Microbiological safety indicators of products.[8]

Name of the microbiological strain indicator	Unit of measurement	Allowed Norm
The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms is not more than	CFU / cm ³	100 no more
Bacteria of the family Enterobacteriaceae	1 cm ³	environment
Bacteria of the family Staphylococcus aureus	1 cm ³	environment
Bacteria of the family Pseudomonas aeruginosa	1 cm ³	environment
The amount of yeast and mold fungi, no more	CFU / cm ³	100 no more

* CFU/cm³ - Colony forming units (of microorganisms) /cm³

The next important stage is filtering, filling, packaging: • The finished lotion is filtered through a membrane filter (0.45 microns) to remove mechanical impurities. • Pour into dark glass bottles with a dropper or dispenser with a volume of 50-100 ml. • Cap and label with storage conditions (“Store in a cool, dark place at a temperature of 15-25 ° C”). Storage conditions and shelf life are necessarily indicated on the packaging with the following indications: • “In tightly closed dark glass bottles”. • “At room temperature”. • “Expiration date – 6 months”.

Conclusion

The paper substantiates the relevance of creating a remedy against hair loss



(alopecia), which is a common problem among men and women. The pharmaceutical development is based on a tincture of capsicum containing capsaicin, a microcirculation activator and hair growth stimulator. To enhance the therapeutic effect and reduce skin irritation, capsaicin is combined with caffeine, nicotinic acid, menthol, panthenol, hyaluronic acid, aloe extract and excipients. A technology for step-by-step production of a lotion with temperature, homogeneity, pH and microbiological purity control is proposed. The complex action of the components contributes to: • strengthening hair follicles; • improving blood supply to the scalp; • stimulating hair growth; • reducing irritation and dryness.

Conclusions. As a result of pharmaceutical development, a trial batch of lotion was produced - for application to the scalp in case of alopecia (partial hair loss). A solution for external, local application to the skin surface - can be considered a promising tool for the prevention and treatment of alopecia. The lotion optimally combines the effectiveness of known active ingredients in cosmetology and dermatology. And the excipients in its composition not only enhance the effect of the active components of the prescription, enhancing the emollient properties and a high level of penetration through the layers of the skin. And in addition - due to the content of methylcellulose, a prolonged effect is provided, and also the convenience of use increases. After all, a solution that is thicker in terms of rheological properties will stay better on the skin surface.[4],[5]

References:

1. Кирилова О.В. Аналітичний огляд і критичний аналіз класифікацій транспортно-технологічних систем // Наукові праці SWorld: міжнародне періодичне наукове видання. – Іваново: Науковий світ, 2015. – Вип. 2 (39). – Т. 1. – С. 11–20. DOI: 10.21893/2410-6720-2016-44-1-111
2. Draelos Z.D. Hair Cosmetics: An Overview // International Journal of Trichology. – 2010. – Vol. 2(1). – P. 24–29. doi:10.4103/0974-7753.66909
3. Література: <https://idermic.com.ua/alopetsiia-prychyny-symptomy-ta-efektyvni-metody-likuvannia/>



4. Сидоренко Г.І., Кравченко Л.В. Лікарські рослини у дерматології та косметології. – Харків: НФаУ, 2017. – 215 с.
5. Kommission E Monographs. Capsicum fructus. – Bundesanzeiger, 1990.
6. Державна Фармакопея України, 2-е вид. – Харків: ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015.
7. European Pharmacopoeia, 11th Edition. – Strasbourg: EDQM, 2023. 3. Сидоренко Г.І., Кравченко Л.В. Лікарські рослини у дерматології та косметології. – Харків: НФаУ, 2017.
8. Державні санітарні правила і норми безпеки продукції парфумерно-косметичної промисловості. URL: <https://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=4261>
9. Hrynovets I. S., Strepko I.I., Hrynovets V. S. Development and technology of a lotion against hair loss based on hot pepper. XVII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Dydaktyczna „Środowisko a stan zdrowia jamy ustnej” - Lublin - 15.05.2025. – 1s.
10. Hrynovets I. S., Strepko I.I., Hrynovets V.S. Development of a lotion against hair loss based on hot pepper. XXV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Lekarzy Dentystów „Między funkcją a estetyką” Sesja plakatowa X (anglojęzyczna) platforma ZOOM. (Thursday – 12:00-12:45). - Lublin - 22.05.2025. - 1 poster.



УДК 616.125.2-073.432.19:616.12-008.313.2-036/-037

ECHOCARDIOGRAPHIC ANALYSIS OF LEFT ATRIAL DEFORMATION USING THE SPECKLE TRACKING METHOD IN PREDICTING THE COURSE OF ATRIAL FIBRILLATION

ЕХОКАРДІОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЇ ЛІВОГО ПЕРЕДСЕРДЯ
МЕТОДОМ SPECKLE TRACKING У ПРОГНОЗУВАННІ ПЕРЕБІГУ ФІБРИЛЯЦІЇ
ПЕРЕДСЕРДЬ

Kozhyn M.I. / Кожин М.І.

к.м.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8359-8890

Rynchak P.I. / Ринчак П.І.

к.м.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7413-0970

Khodosh E.M./ Ходош Е.М..

с. т.с., проф. /к.м.н., проф.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8359-8890>

Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Nauky Ave., 4, 61022

Харківський національний медичний університет, Харків, просп. Науки 4, 61022

Анотація В роботі розглядається проблема стратифікації дисфункції правого шлуночка за ехокардіографічними критеріями. Запропоновано трьохстадійну класифікацію прогресії функціональних порушень від субклінічної дисфункції до декомпенсації. RV strain визначено як найбільш чутливий ранній маркер, що дозволяє виявляти порушення при збережених традиційних показниках. Комплексний підхід забезпечує оптимізацію клінічного менеджменту пацієнтів, особливо з легеневою гіпертензією.

Ключові слова: правий шлуночок, ехокардіографія, strain, легенева гіпертензія, дисфункція серця.

Вступ

Лівопередсердна кардіоміопатія набуває дедалі більшого визнання як окрема нозологічна одиниця в сучасній кардіології. Згідно з консенсусом Європейської асоціації серцевого ритму (EHRA) та суміжних товариств 2024 року, передсердна кардіоміопатія визначається як комплекс структурних, архітектурних, скорочувальних або електрофізіологічних змін передсердь з потенціалом клінічно значущих проявів [1].

Лікарям досі важко точно визначити, коли фібриляція передсердь виникає через первинну лівопередсердну кардіоміопатію, а коли - з інших причин. Це створює проблему, бо від правильного діагнозу залежить вибір лікування та прогноз для пацієнта[2].."



Традиційні ехокардіографічні параметри часто виявляються недостатньо чутливими для ранньої діагностики функціональних порушень. Сучасні методики візуалізації, зокрема speckle tracking ехокардіографія, дозволяють виявити субклінічні функціональні порушення навіть до розвитку структурних змін [3,4].

Мета дослідження

Визначити діагностичне значення комплексних ехокардіографічних показників, включаючи strain-аналіз, для встановлення лівопередсердної кардіоміопатії у хворих з пароксизмальною фібриляцією передсердь та порівняти особливості клінічного перебігу з фібриляцією передсердь без структурних змін передсердь.

Завдання дослідження:

1. Провести комплексну оцінку морфометричних та функціональних показників лівого передсердя за допомогою стандартної ехокардіографії та strain-аналізу
2. Встановити діагностичні критерії лівопередсердної кардіоміопатії з визначенням їх чутливості та специфічності
3. Порівняти особливості клінічного перебігу фібриляції передсердь у пацієнтів з лівопередсердною кардіоміопатією та без неї
4. Виявити незалежні предиктори агресивного перебігу фібриляції передсердь
5. Оцінити прогностичну цінність strain-аналізу лівого передсердя

Матеріали і методи

Дизайн дослідження та характеристика пацієнтів

У проспективне одноцентрове дослідження включено 80 осіб протягом 2023-2025 років:

- **Група 1:** 50 пацієнтів з пароксизмальною ФП та ехокардіографічними ознаками ЛП кардіоміопатії (26 чоловіків, 24 жінки, середній вік $64,2 \pm 8,7$ років)
- **Група 2:** 30 пацієнтів з пароксизмальною ФП без структурних змін ЛП (16 чоловіків, 14 жінок, середній вік $63,8 \pm 9,1$ років)



• **Група 3:** 30 здорових осіб (контрольна група) (16 чоловіків, 14 жінок, середній вік $62,1 \pm 7,9$ років)

Критерії включення та виключення

Критерії включення в групу 1: документована пароксизмальна ФП протягом останніх 6 місяців, індекс об'єму ЛП >34 мл/м² та/або $E/e' >14$ та/або глобальний поздовжний strain ЛП $<23\%$, відсутність гемодинамічно значущої клапанної патології, ФВ ЛШ $>50\%$, синусовий ритм на момент обстеження.

Критерії включення в групу 2: документована пароксизмальна ФП протягом останніх 6 місяців, індекс об'єму ЛП ≤ 34 мл/м², $E/e' \leq 14$, глобальний поздовжний strain ЛП $\geq 23\%$, відсутність значущої клапанної патології, ФВ ЛШ $>50\%$.

Критерії виключення: персистуюча або постійна форма ФП, вроджені вади серця, гострий коронарний синдром протягом попередніх 3 місяців, активний міокардит або перикардит, попередні хірургічні втручання з приводу ФП, неякісні ехокардіографічні зображення, відмова пацієнта від участі.

Методи дослідження

Ехокардіографія: виконувалася на системі Samsung Medison V7 з датчиком RA1-5A (1-5 МГц) згідно з рекомендаціями ASE та EACVI [6]. Усі дослідження проводилися одним досвідченим спеціалістом в міжприступний період при синусовому ритмі.

Strain-аналіз: виконувався за допомогою програмного забезпечення EchoPAC версії 203 з частотою кадрів 60-80/секунду [4]. Оцінювався глобальний поздовжний strain лівого передсердя в апікальних проекціях при стабільному синусовому ритмі.

Додаткові методи: 24-годинне холтерівське моніторування ЕКГ, визначення рівня NT-proBNP імуноферментним методом. Усі пацієнти отримували стандартну медикаментозну антиаритмічну терапію відповідно до клінічних рекомендацій.

Протокол спостереження

Спостереження тривало 24 місяці з контрольними оглядами кожні 6 місяців,



які включали клінічне обстеження, ЕКГ, ехокардіографію та визначення NT-proBNP. Первинною кінцевою точкою був перехід у персистуючу форму ФП, вторинними - розвиток серцевої недостатності та динаміка біомаркерів.

Статистичний аналіз

Статистична обробка проводилася за допомогою IBM SPSS версії 26.0. Використовувався дисперсійний аналіз (ANOVA) з post hoc тестом Тьюкі, кореляційний аналіз Пірсона. Критичний рівень значущості $p < 0,05$. Дані представлені як середнє $\pm$ стандартне відхилення.

Результати

Морфометричні та функціональні показники лівого передсердя

Комплексна ехокардіографічна оцінка виявила статистично значущі відмінності між групами за всіма досліджуваними параметрами (Таблиця 1).

Таблиця 1. Основні ехокардіографічні показники лівого передсердя

Показник	Група 1 (n=50)	Група 2 (n=30)	Група 3 (n=30)	p
Морфометричні показники				
Об'єм ЛП максимальний, мл	68,4 $\pm$ 12,2#	45,8 $\pm$ 8,4†‡	44,8 $\pm$ 7,6	<0,001
Індекс об'єму ЛП, мл/м ²	42,3 $\pm$ 6,8#	28,9 $\pm$ 3,8†	28,4 $\pm$ 3,2	<0,001
Площа ЛП в систолу, см ²	24,8 $\pm$ 3,2#	20,1 $\pm$ 2,4†‡	18,6 $\pm$ 2,1	<0,001
Функціональні показники				
Фракція спорожнення ЛП, %	38,2 $\pm$ 7,4#	52,1 $\pm$ 6,8†‡	56,8 $\pm$ 6,2	<0,001
Глобальний strain ЛП, %	18,4 $\pm$ 4,2#	31,2 $\pm$ 4,6†‡	39,2 $\pm$ 5,8	<0,001
Швидкість деформації ЛП, с ⁻¹	0,98 $\pm$ 0,24#	1,65 $\pm$ 0,31†‡	2,12 $\pm$ 0,38	<0,001
Діастолічна функція ЛШ				
E/e' середнє	16,8 $\pm$ 4,2#	10,1 $\pm$ 2,8†‡	8,9 $\pm$ 2,1	<0,001
e' септальний, см/с	6,2 $\pm$ 1,8#	8,1 $\pm$ 2,0†‡	9,8 $\pm$ 2,1	<0,001
e' латеральний, см/с	7,8 $\pm$ 2,1#	10,6 $\pm$ 2,4†‡	Група 12,4 $\pm$ 2,8	<0,001
Біомаркери				
NT-proBNP вихідний, пг/мл	284 $\pm$ 92#	156 $\pm$ 68†‡	98 $\pm$ 45	<0,001

$p < 0,001$ vs групи 2 та 3; † $p < 0,001$ vs групи 1; ‡ $p < 0,05$ vs групи 3

Авторська розробка

Діагностична цінність ехокардіографічних критеріїв

• **Індекс об'єму ЛП >34 мл/м²:** виявлений у 100% пацієнтів групи 1, 17% групи 2 та 0% групи 3 (чутливість 100%, специфічність 72%)



• **Глобальний strain ЛП <23%:** виявлений у 100% пацієнтів групи 1, 0% групи 2 та 0% групи 3 (чутливість 100%, специфічність 100%)

• **E/e' >14:** виявлено у 100% пацієнтів групи 1, 23% групи 2 та 0% групи 3 (чутливість 100%, специфічність 62%)

Комбінація усіх трьох критеріїв показала найвищу діагностичну точність для ідентифікації пацієнтів з лівопередсердною кардіоміопатією.

Клінічні результати довгострокового спостереження

Таблиця 2. Клінічні результати протягом 24-місячного спостереження

Показник	Група 1 (ЛП КМП)	Група 2 (ФП без КМП)	p
Збереження пароксизмальної ФП, %			
6 місяців	68 (34/50)	90 (27/30)	0,02
12 місяців	46 (23/50)	83 (25/30)	<0,001
24 місяці	32 (16/50)	77 (23/30)	<0,001
Розвиток персистуючої ФП, %			
24 місяці	54 (27/50)	23 (7/30)	0,004
Додаткові клінічні події			
Розвиток СН зі збереженою ФВ	92% (46/50)	31% (9/30)	<0,001
Госпіталізації з приводу СН	38% (19/50)	10% (3/30)	0,006
NT-proBNP наприкінці, пг/мл	687±145	178±82	<0,001

Авторська розробка

Кореляційний аналіз

Виявлено сильні кореляційні зв'язки між:

- Глобальним strain ЛП та індексом об'єму ЛП ($r=-0,78$, $p<0,001$)
- E/e' та strain ЛП ($r=-0,65$, $p<0,001$)
- NT-proBNP та всіма структурно-функціональними показниками ЛП ($r=0,45-0,72$, $p<0,001$)

Обговорення

Результати дослідження демонструють принципові відмінності у клінічному перебігу фібриляції передсердь залежно від наявності структурно-функціональних змін лівого передсердя. У групі пацієнтів з лівопередсердною кардіоміопатією 54% перейшли у персистуючу форму фібриляції передсердь протягом двох років порівняно з 23% у групі без кардіоміопатії ($p=0,004$), що



узгоджується з сучасними уявленнями про роль структурного ремоделювання передсердь у прогресуванні аритмії [8].

Діагностичні критерії, запропоновані у дослідженні (індекс об'єму ЛП >34 мл/м², $E/e' >14$, глобальний strain ЛП $<23\%$), показали високу чутливість (100%) для виявлення пацієнтів з агресивним перебігом ФП. Найбільш специфічним маркером виявився глобальний поздовжній strain лівого передсердя, що демонстрував 100% специфічність для диференціації пацієнтів з передсердною кардіоміопатією [3,9].

Розвиток серцевої недостатності зі збереженою фракцією викиду у 92% пацієнтів з лівопередсердною кардіоміопатією проти 31% без кардіоміопатії ($p<0,001$) підкреслює ключову патофізіологічну роль структурно-функціональних змін передсердь у формуванні діастолічної дисфункції [10].

Значне підвищення рівня NT-proBNP у пацієнтів з передсердною кардіоміопатією (з 284 ± 92 до 687 ± 145 пг/мл) відображає прогресування міокардіальної дисфункції та може служити додатковим маркером для моніторингу ефективності лікування.

Обмеження дослідження

Обмеженнями дослідження є відносно невелика вибірка пацієнтів, одноцентровий дизайн, відсутність гістологічної верифікації змін міокарда передсердь.

Клінічне значення

Результати мають важливе практичне значення для оптимізації ведення пацієнтів з фібриляцією передсердь. Раннє виявлення лівопередсердної кардіоміопатії дозволяє ідентифікувати пацієнтів високого ризику агресивного перебігу та розглянути можливість інтенсифікації терапії.

Висновки

1. Лівопередсердна кардіоміопатія є основним патофізіологічним субстратом агресивного перебігу фібриляції передсердь з високим ризиком прогресування у персистуючу форму (54% проти 23%, $p=0,004$).

2. Комплексна ехокардіографічна оцінка з використанням критеріїв індекс



об'єму лівого передсердя >34 мл/м², $E/e' >14$ та глобальний strain лівого передсердя $<23\%$ має найвищу діагностичну цінність для виявлення передсердної кардіоміопатії.

3. Глобальний поздовжній strain лівого передсердя є найбільш чутливим та специфічним маркером функціональних порушень передсердь (чутливість та специфічність 100%) та перевершує традиційні ехокардіографічні параметри.

4. Лівопередсердна кардіоміопатія асоціюється з високим ризиком розвитку серцевої недостатності зі збереженою фракцією викиду (92% проти 31%, $p<0,001$) та значним підвищенням рівня NT-proBNP.

5. Strain-аналіз лівого передсердя методом speckle tracking повинен бути інтегрований у стандартний алгоритм обстеження пацієнтів з фібриляцією передсердь як обов'язковий компонент комплексної оцінки.

Практичне значення результатів полягає у можливості ранньої ідентифікації пацієнтів з високим ризиком агресивного перебігу фібриляції передсердь, що дозволяє своєчасно призначити оптимальну персоналізовану терапію та поліпшити довгострокові результати лікування.

Література

1. Goette A, Corradi D, Dobrev D, et al. Atrial cardiomyopathy revisited- evolution of a concept: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC, the Heart Rhythm Society (HRS), the Asian Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), and the Latin American Heart Rhythm Society (LAHRS). *Europace*. 2024;26(9):euae204.

2. Karakasis P, Patoulas D, Fragakis N, et al. Atrial Cardiomyopathy in Atrial Fibrillation: A Multimodal Diagnostic Framework. *Diagnostics*. 2025;15(10):1207.

3. Singh A, Addetia K, Maffessanti F, et al. LA Strain for Assessment of LV Diastolic Function: Focus on Populations with Normal LVEF. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2023;16(5):691-707.

4. Badano LP, Kolas TJ, Muraru D, et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using two-dimensional speckle



tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2018;19(6):591-600.

5. Soulat-Dufour L, Addetia K, Miyoshi T, et al. Normal Values of Left Atrial Size and Function and the Impact of Age: Results of the World Alliance Societies of Echocardiography Study. J Am Soc Echocardiogr. 2022;35(2):154-164.

6. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2015;28(1):1-39.

7. Sugimoto T, Robinet S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal left atrial function parameters: results from the EACVI NORRE study. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2018;19(6):630-638.

8. Khan HR, Yakupoglu HY, Kralj-Hans I, et al. Left atrial function predicts atrial arrhythmia recurrence following ablation of long-standing persistent atrial fibrillation. Circ Cardiovasc Imaging. 2023;16(4):e015352.

9. Olsen FJ, Christensen LM, Krieger DW, et al. Normal values and reference ranges for left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: the Copenhagen City Heart Study. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2021;22(1):42-51.

10. Analysis of left atrial strain in hypertrophic cardiomyopathy and its prognostic utility. Curr Probl Cardiol. 2024;49(1 Pt C):102146.

Abstract. The paper addresses the problem of right ventricular dysfunction stratification according to echocardiographic criteria. A three-stage classification of functional impairment progression from subclinical dysfunction to decompensation is proposed. RV strain is identified as the most sensitive early marker, allowing detection of abnormalities with preserved traditional parameters. The comprehensive approach ensures optimization of clinical management, especially in patients with pulmonary hypertension.

Keywords: right ventricle, echocardiography, strain, pulmonary hypertension, heart failure.

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: дослідження проведено без зовнішнього фінансування.

Статтю надіслано 19.09.2025

©Кожин М.І.



UDC 621.391

WAVELET-BISPECTRUM METHOD FOR DETERMINING QRS COMPLEX POSITIONS IN ECG SIGNALS

Viunyskyi O.H.

Ph.D., as. prof.

ORCID: 0000-0002-1806-6193

Totsky O.V.

d.t.s., prof.

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute",

Kharkiv, Vadim Manka, 17, 61070

Abstract. The paper considers and investigates a new method for determining the positions of characteristic points of an electrocardiographic signal based on wavelet-bispectrum signal processing, which provides an increase in the probability of determining the R-characteristic point by 7.24% in contrast to standard methods, achieving a probability of correct determination of 99.96%. The results of the study of the effectiveness of the proposed method are demonstrated using real signals taken from the open database "Computing in Cardiology Challenge 2013", as well as the MIT-BIH and QT-Database databases. The conducted studies demonstrate that the results obtained for the MIT-BIH database are better than the results of other authors, and the sensitivity of the proposed method reaches 99.96%, while for the QT-Database 100%, which indicates the high efficiency of this method. One of the main problems of the proposed approach is the dependence on the length of the initial signal. If the signal being processed has a high duration, then the wavelet-bispectrum calculations will be much slower, due to the dependence of the number of frequency samples on the signal length in the wavelet transform, on which the dimension of the bispectrum will also depend. The higher it is, the longer the calculations are performed. When implementing the proposed method, this feature was considered and corrected by segmenting the signal and processing local fragments. Also, for a better calculation, a comparison of signal fragments in the found positions of QRS complexes was added, after which a correlation analysis of the found fragments was performed, and fragments that have a correlation by modulus lower than 0.3 are removed and not considered as QRS complex positions. By using this application of procedures, the method becomes invariant to interference, can search for distorted, non-stationary QRS complexes, and allows processing of long-term records. This method, with additional modification, can also be used to find other characteristic points of the QRS complex: P, Q, S, T.

Key words: ECG signal, QRS complex, wavelet transform, Morlet wavelet, wavelet-bispectrum.

Introduction.

Monitoring physiological parameters is extremely important for assessing a person's condition. One of the main physiological parameters is the human electrocardiogram (ECG). In addition, the ECG signal can be used to assess another important physiological parameter - blood pressure. Also, the ECG signal can be processed to determine the respiratory rate [1, 2]. It is also worth noting that the determination of heart rate using the ECG signal is based on measuring the temporal position of QRS complexes corresponding to the moments of heart contractions. The



QRS complex is used as a reference point for classifying the cardiac cycle and detecting any abnormalities [3, 4]. One of the problems in determining the positions of the QRS complex in ECG signals is the presence of a large number of noise components. For the most part, various methods of isolating the useful signal from the background of interference are used to determine the positions of the QRS complex, which begin with pre-processing of the signal based on linear filtering in a certain frequency band, which allows limiting part of the interference components [5]. However, the use of such filtering also affects the parameters of the studied signal and subsequently the efficiency of determining the positions of the QRS complex. The main problem is to determine the optimal frequency band for pre-filtering of ECG signals [6]. The next step after pre-processing is to determine the R-characteristic points (R-peaks) of the ECG signal [7]. To implement this procedure, the Pan-Tompkins algorithm is most often used [8]. This algorithm consists of step-by-step filtering of the signal first in the 5-30 Hz band, then the derivative of the received signal is searched for, for which the modular value is calculated, which is then re-filtered in the 0-15 Hz band, after which a threshold detector is used to find the position of the R-peaks. There are also modifications of the Pan-Tompkins algorithm, in which instead of finding the derivative after filtering the signal, the square of the signal is calculated [9]. Despite the fact that this algorithm is quite often used in various studies, recent works demonstrate its low efficiency [7, 10, 11] and show that the probability of correctly determining the position of the R-peak is 86.86%. This indicates the need to develop a new method for finding the positions of R-peaks in ECG signals, which will have a higher probability of correctly determining the position of these peaks. There is also another problem - the problems of methods for determining the position of R-peaks in the ECG signal. Since further processing depends directly on the accurate calculation of these positions, it is necessary to implement a method that will be resistant to nonlinear interference and distortions of the ECG signal when searching for the positions of R-peaks [7]. To solve this problem, it is proposed to perform a polyspectral analysis of ECG signals. A number of scientific works published today are aimed at developing a method for calculating polyspectrum using a time-frequency dynamic



window [12, 13]. However, there are several limitations to the use of such algorithms, in particular, it is necessary to accurately determine the characteristic time scale taking into account their invariance in time. There is also considerable difficulty in normalizing the obtained polyspectrum, since the influence of discretization and random errors leads to the need for regularization. To overcome these shortcomings, the wavelet bispectrum and bicoherence were introduced to study the interactions between individual local oscillators in a complex dynamical system [14]. The generalization of the bispectrum to the wavelet transform makes it possible to analyze such fundamentally nonlinear phenomena as the temporal dynamics of the phase relationship between different harmonics in a signal [15], as well as to identify short-lived structures in sets of spatiotemporal data. Higher-order statistics based on wavelet analysis can be successfully used to study the behavior of systems with nonlinear dynamics and to isolate coherent structures.

Wavelet-bispectrum transform

The continuous wavelet transform of a signal $f(x)$ has the following form [14, 15]:

$$W_{\psi}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_{\psi}}} \int_{\mathbb{R}} f(x) \psi_{ab}^*(x) dx \quad (1)$$

where $\psi_{ab}^*(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$; a and b are the scale and shift, respectively; ψ is the wavelet generating function, and C is the normalization coefficient.

The wavelet range (1) determines the behavior over time of the studied object of each time scale (a) at any time (b). The normalization coefficient C in formula (1) is defined as:

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(w)|}{|w|} dw < \infty, \quad (2)$$

where $\hat{\psi}(w)$ is the Fourier transform of the wavelet $\psi(w)$.

Condition (2) for the constant C_{ψ} limits the class of functions $\psi(x)$ that can be used as basic wavelets. From formula (2) it follows that the function must be equal to zero at $\omega=0$ and, therefore, the wavelet must have a zero mean. Almost any function that satisfies condition (2) is a wavelet, so it is possible to choose the type of function



depending on the specific problem. Each basic wavelet function $\psi(x)$ is characterized by different specific properties, which allows, using different wavelets, to identify the features of the signal. Among the many currently existing various wavelet functions, we will choose and use the complex Morlet wavelet [16], which is written as follows:

$$\psi(x) = \exp(jw_0x) \exp(-x^2 / 2) \quad (3)$$

The classical estimation of the spectral power density, determined by various spectral methods, is useful in determining the independent contribution of each spectral component to the total spectrum of the time series signal. However, information about the possible connection of different frequency components with each other is not revealed. To obtain such information, polyspectral analysis is used, which allows to detect the effects of the relationship of spectral components. In particular, the wavelet bispectrum of the studied signal is determined by the following expression [12, 14]:

$$B(f_1, f_2) = \int_T W(f_3, b) W(f_2, b) W(f_1, b), \quad (4)$$

where f_1, f_2 are the frequency indices a, b of the wavelet transform (1); $f_3 = f_1 + f_2$.

The use of the wavelet-bispectrum strategy in the study of the positions of QRS complexes should provide an increase in the accuracy of the selection of these positions against the background of interference, taking into account the main advantages of this approach in the ability to determine spectral components that have certain phase relationships. These components should be responsible for QRS complexes, while the spectral components of interference that do not have phase relationships should be suppressed in this assessment. The use of wavelet transforms will allow analyzing the behavior of these spectral components in time, thereby allowing to determine the positions of QRS complexes in time.

Results of research and their analysis

The MIT-BIH database [17] was used for the experimental studies. This database is one of the most widely used databases for the analysis of QRS complex detection methods in ECG signals [18]. The MIT-BIH database contains 48 half-hour segments of two-lead ambulatory ECG recordings obtained from 47 subjects studied by the BIH Arrhythmia Laboratory between 1975 and 1979. In addition, twenty-three records were



randomly selected from a set of 4000 24-hour ambulatory ECG recordings collected from a mixed population of inpatients (approximately 60%) and outpatients (approximately 40%) at Beth Israel Hospital in Boston. The remaining 25 records were selected from the same set to include less common but clinically significant arrhythmias that would not be well represented in a small random sample. The recordings were digitized at a rate of 360 samples per second per channel with 11-bit resolution within a range of 10 mV. Two or more cardiologists independently annotated each received recording [19]. Accordingly, this database has an annotation indicating the position of QRS complexes, as well as signals that, due to the presence of pathologies in the rhythm, have non-stationary and nonlinear distortions. It is these distortions that ensure the active use of this database, since methods for searching for QRS complexes must be invariant to such non-stationary changes. Figure 1 shows an ECG signal for which it is necessary to calculate the positions of R-peaks.

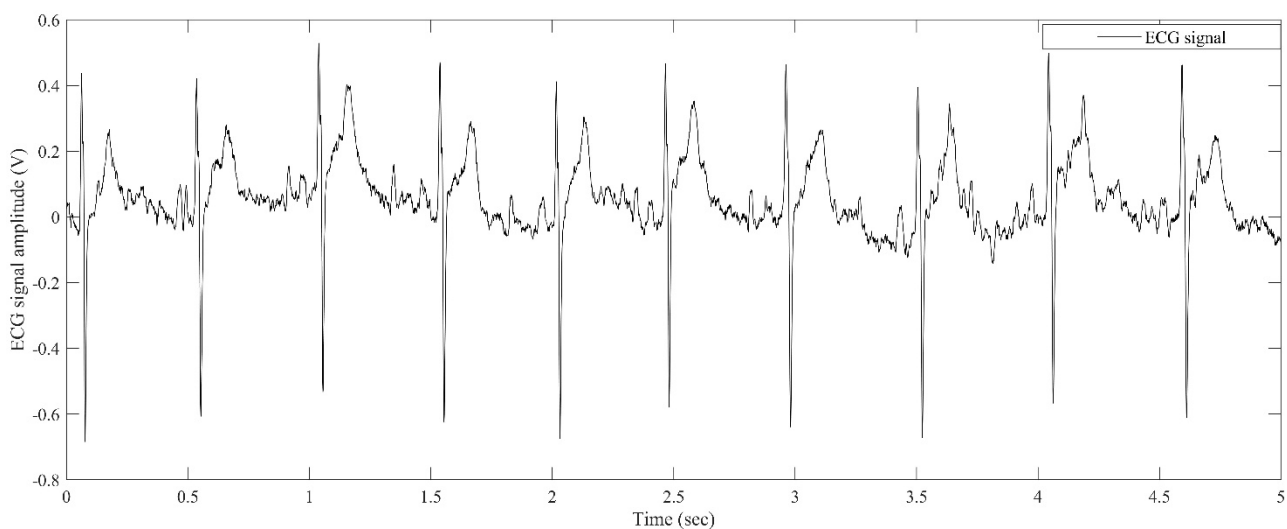


Figure 1 - One channel of ECG signal

Authoring

To study the wavelet-bispectrum method in order to estimate the position of R-peaks, it is necessary to calculate the continuous wavelet transform (1) for a given signal. Figure 2 shows the wavelet transform, Figure 3 shows the calculated wavelet bispectrum according to definition (4), using the wavelet transform shown in Figure 2. Figure 3 shows that after calculating the wavelet bispectrum, the noise level that was present in the wavelet transform in Figure 2 decreased.

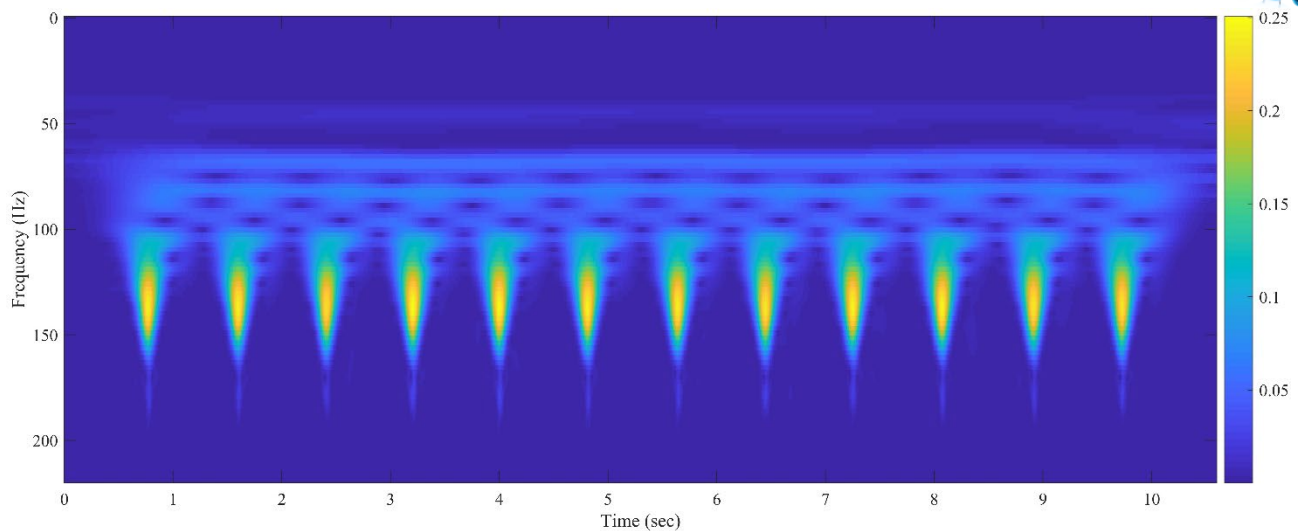


Figure 2 – Wavelet-Transform for ECG signal

Authoring

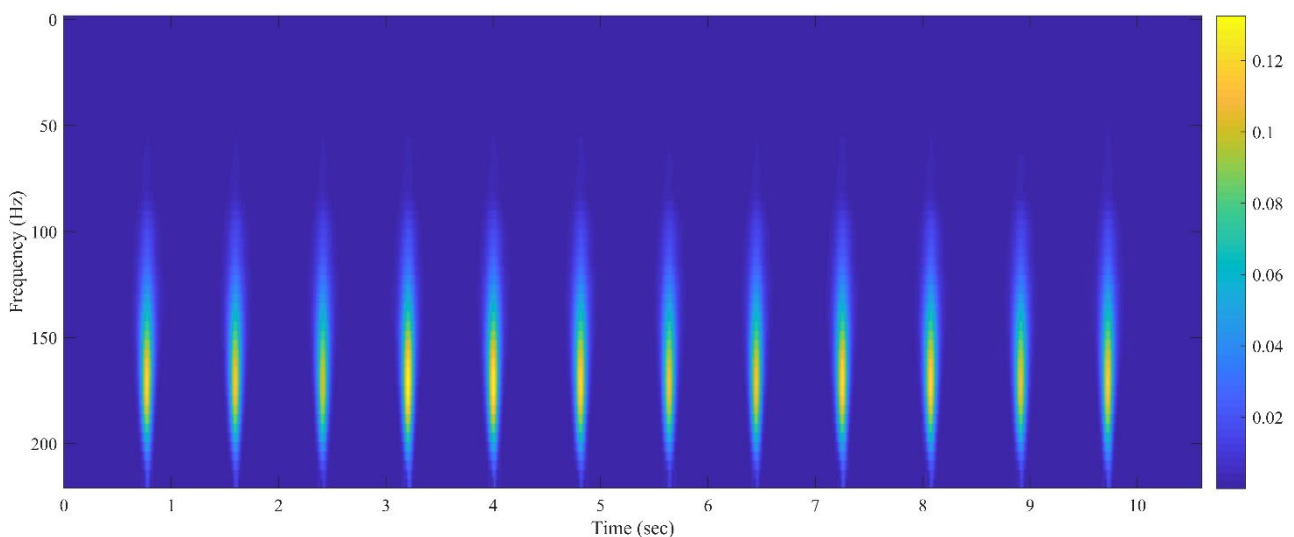


Figure 3 - Wavelet-Bispectrum for ECG signal

Authoring

This is explained by the peculiarity of bispectrum signal processing, which means that spectral components that do not have phase relationships will be removed. Noise components of the signal do not have such relationships, which is why they are absent in the wavelet bispectrum transform. It is also clear from the figures that the frequency characteristics have changed when using the wavelet bispectrum transform. To determine the positions of the R-peaks of the studied signal, it is necessary to determine the average values of the wavelet-bispectrum transform in each column of the wavelet-bispectrum matrix. To find the positions themselves, it is necessary to calculate the



local maxima of the obtained function. Figure 4 shows the result of calculating the average in the wavelet-bispectrum estimate. Figure 5 shows the result of calculating the positions of the R-peaks together with the ECG signal.

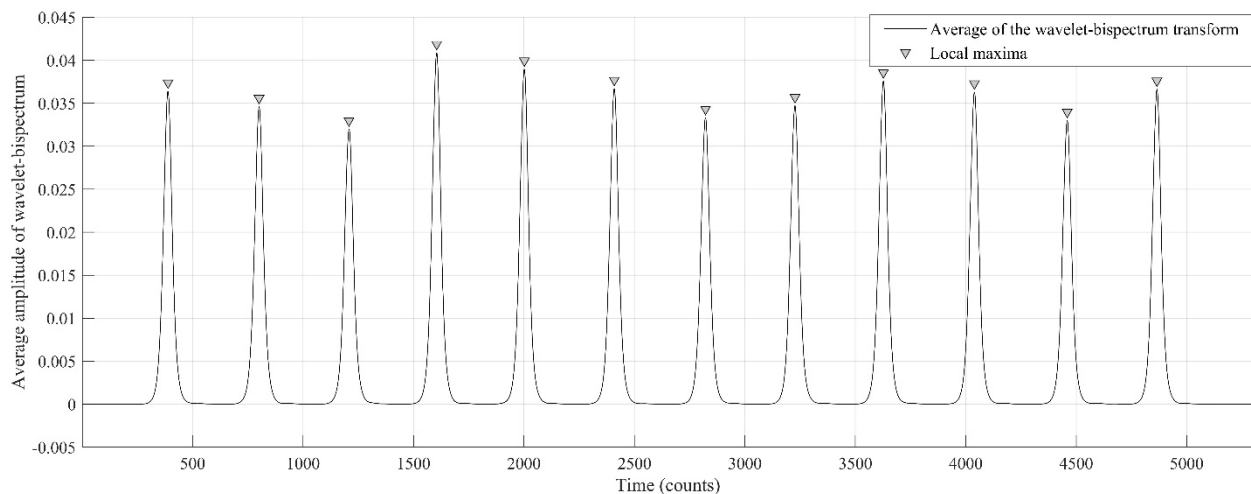


Figure 4 - Calculation of R-peak position by proposed method

Authoring

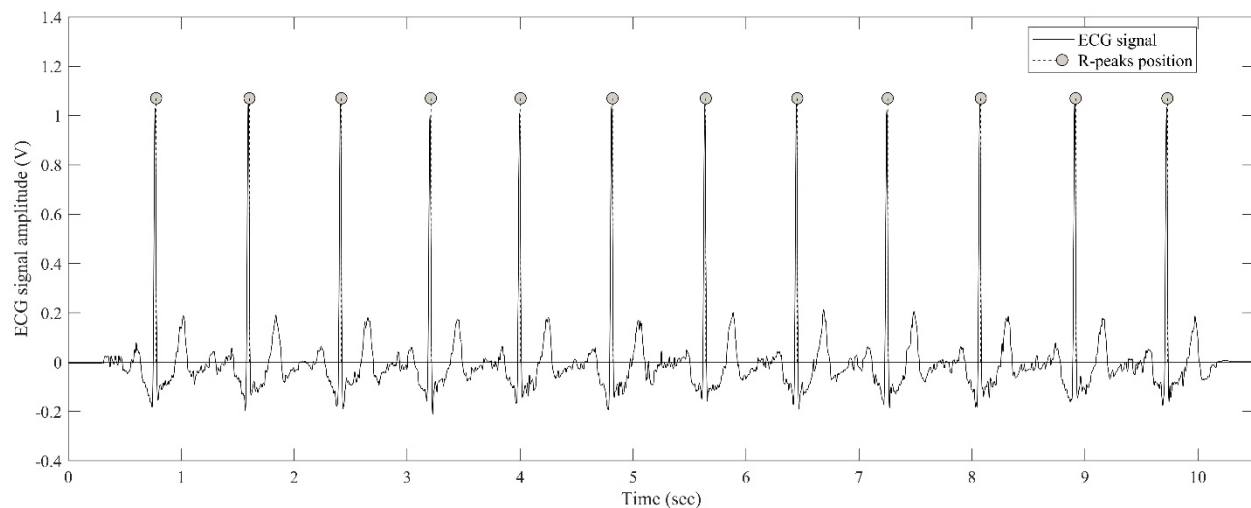


Figure 5 - The result of searching for R-peaks in the ECG signal

Authoring

One of the main problems of the proposed approach is the dependence on the length of the initial signal. If the signal being processed has a high duration, then the calculations of the wavelet-bispectrum will be much slower, due to the dependence of the number of frequency samples on the length of the signal in the wavelet transform, on which the dimension of the bispectrum will also depend. One of the options for avoiding such a problem is to use window processing, as was performed in the



bispectrum estimate of the abdominal signal. Thanks to this application of procedures, the method becomes invariant to interference, can search for distorted, non-stationary QRS complexes, and allows processing of long-term recordings.

For comparison, Figure 6 shows the result of the calculation on the same signal using the Pan-Tompkins algorithm [8].

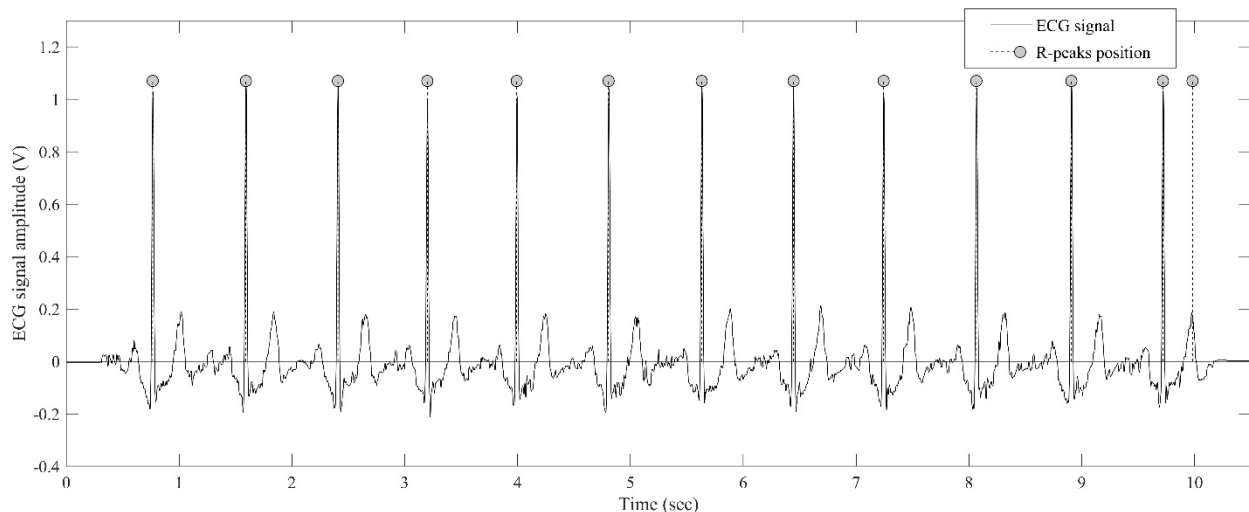


Figure 6 - The result of searching for R-peaks in the ECG signal using the Pan-Tompkins method

Authoring

As can be seen from the results in Figure 6, when using the Pan-Tompkins method, an extra position was found that does not correspond to the position of the R-peak. This problem can be eliminated by adding to the algorithm the minimum distance that should be between neighboring R-peaks, then the extra positions will be ignored. For comparison, Figure 7 shows the calculation of the squared signal modulus in the 0-15 Hz frequency band for another signal - this is the penultimate procedure in the Pan-Tompkins algorithm. Figure 8 shows the result of calculating the average wavelet bispectrum for the same set of signals that were used to calculate the squared signal modulus shown in Figure 7. As can be seen from the comparison of Figures 7 and 8, the use of the wavelet bispectrum method and the Pan-Tompkins method for finding R-peaks give results that are very different. It is worth noting that the wavelet bispectrum approach provides noise suppression. Figure 9 presents the result of searching for R-peaks using the Pan-Tompkins method, for the modulus of the square



of the signal values in the 0-15 Hz band, which was shown in Figure 7.

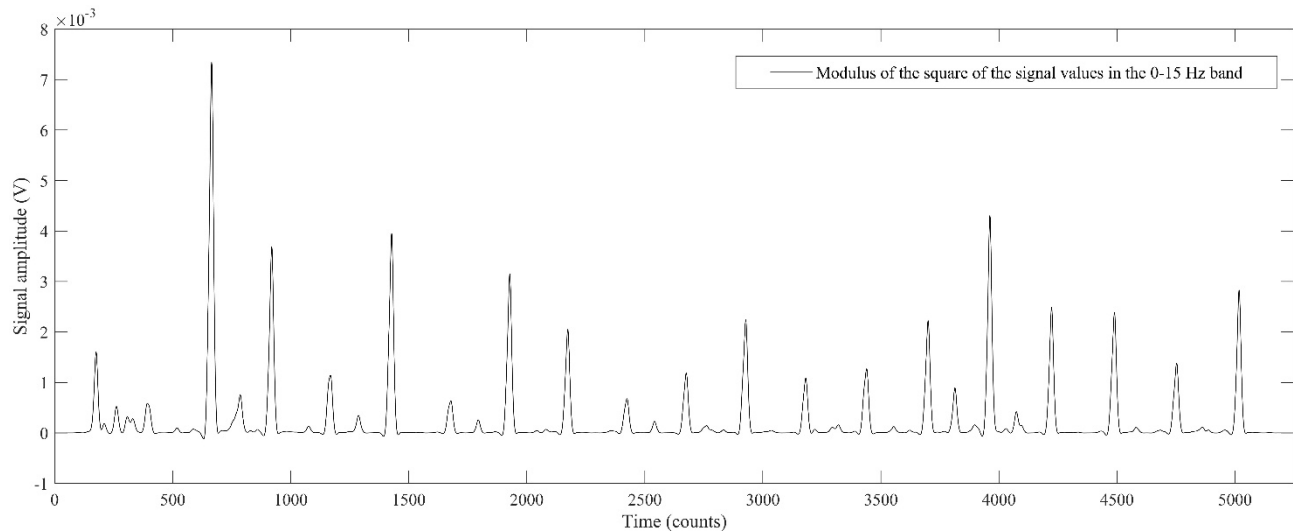


Figure 7 - The result of the penultimate procedure of the Pan-Tompkins algorithm

Authoring

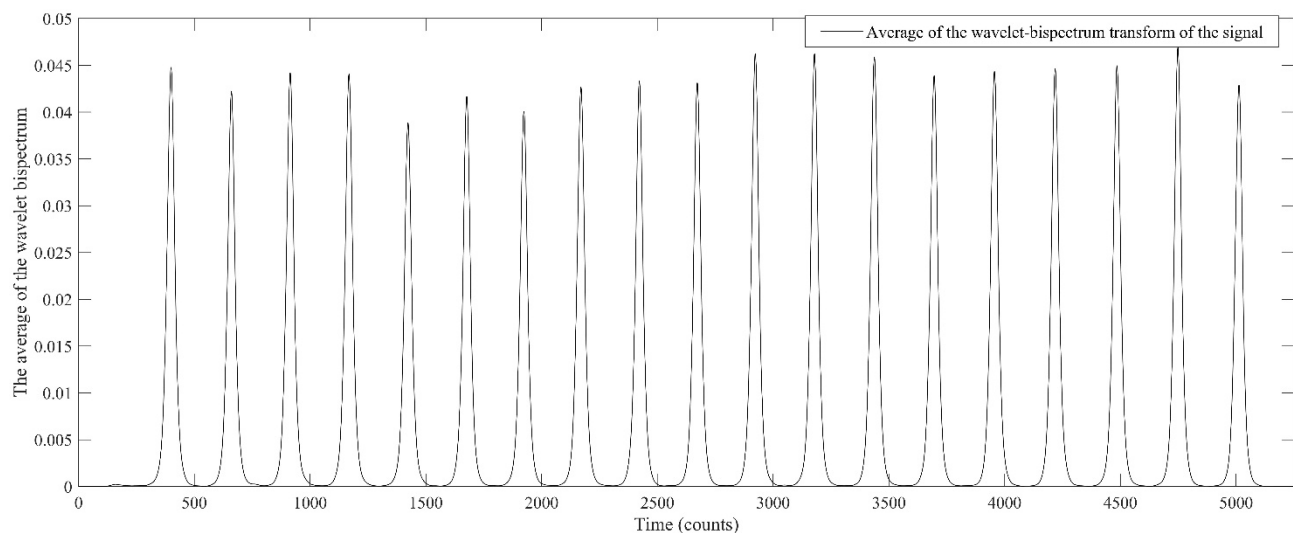


Figure 8 - Result of calculating the average value of the wavelet-bispectrum in finding the position of R-peaks

Authoring

Figure 10 presents a similar calculation result, but using the wavelet-bispectrum method, the penultimate procedure of which was demonstrated in Figure 8.

The problems of the Pan-Tompkins algorithm were caused by the search for the average value of the square root of the signal values in the 0-15 Hz band between all available signal channels. Because of this, one of the channels, which contains the largest noise contribution, distorted the results of the search for the position of R-peaks



in the ECG signal. This problem can be solved by using adaptive methods for estimating the level of interference in the signal, thereby determining the channels with the highest level of interference, which when using this algorithm would be removed and not used. However, the use of the wavelet-bispectrum method also uses the averaging procedure between channels, but not signals or their modulus values, but the averaging of wavelet transforms for each channel is used, thereby providing even greater noise immunity of this method.

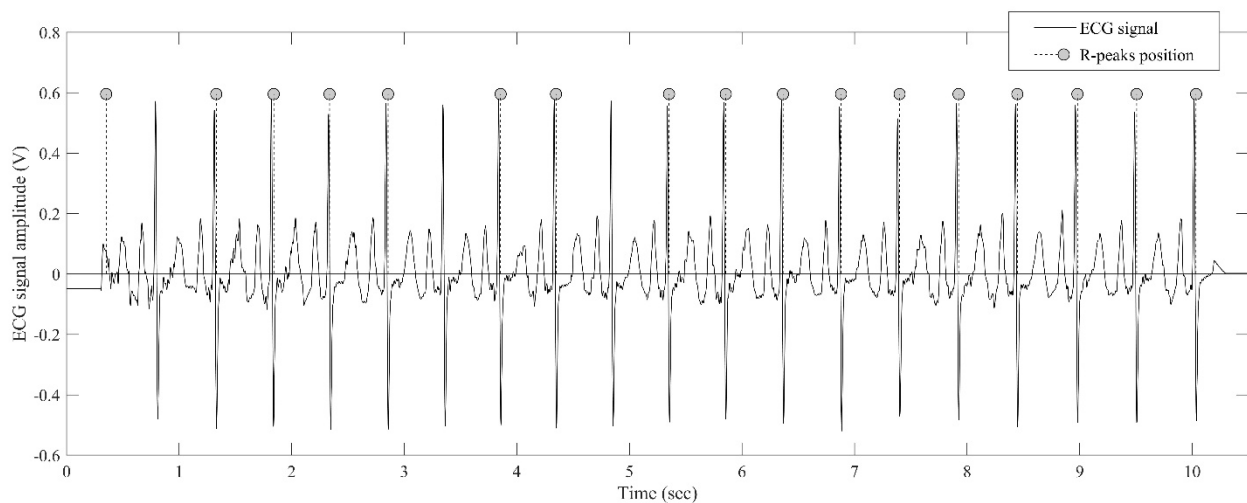


Figure 9 - Result of calculating the position of R-peaks in the Pan-Tompkins algorithm

Authoring

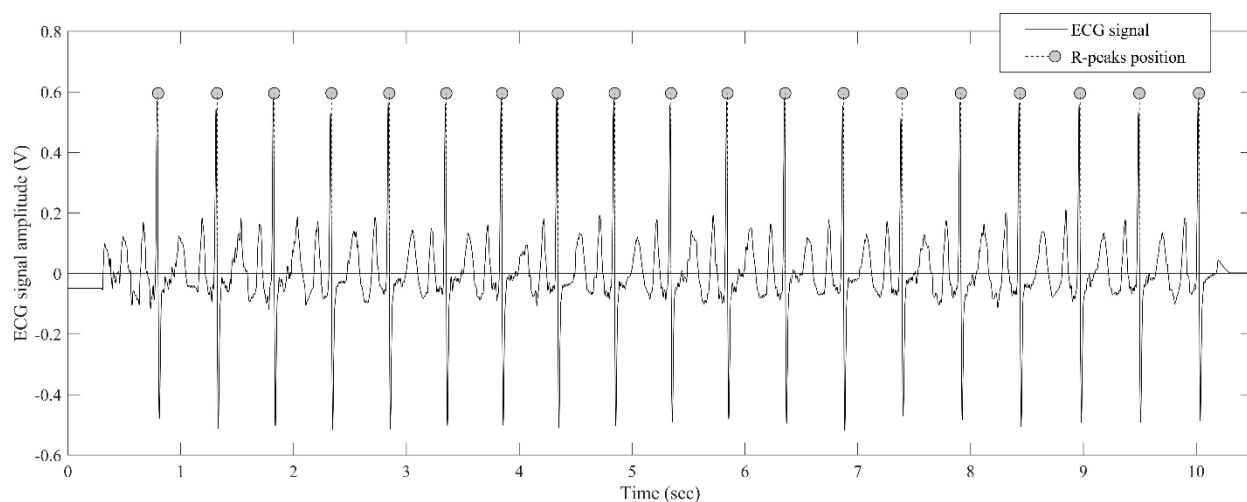


Figure 10 - Result of calculating the position of R-peaks using the wavelet-bispectrum algorithm

Authoring

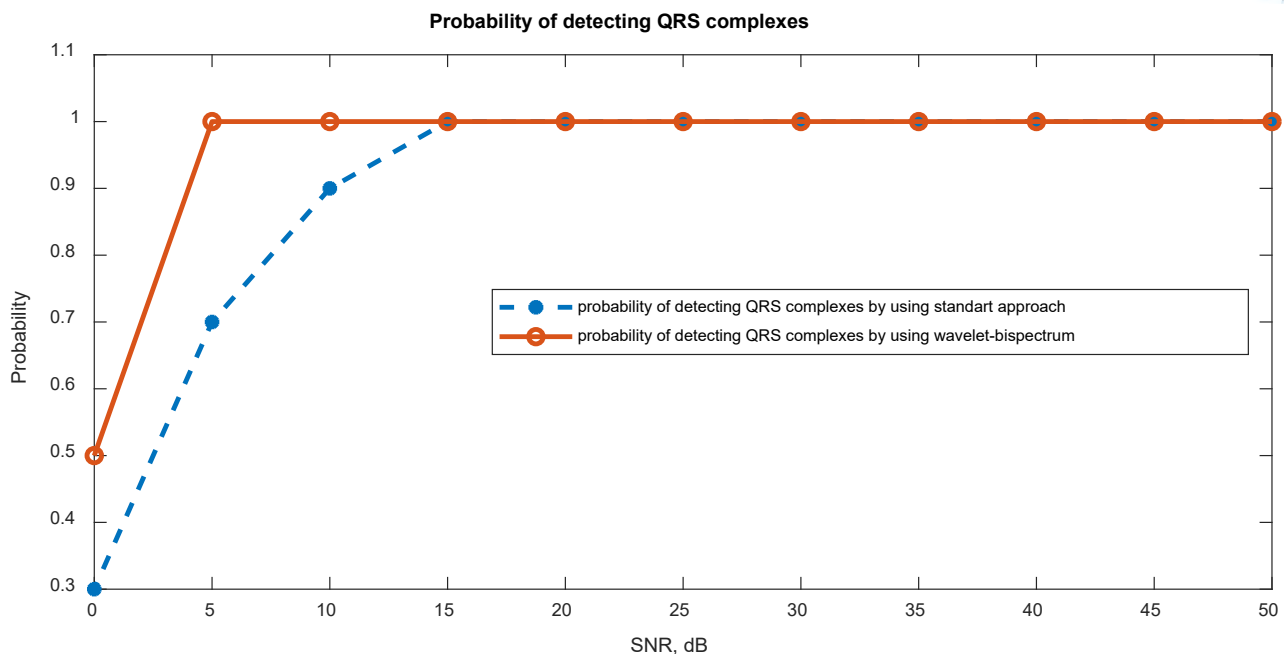


Figure 11 - Result of calculating the noise immunity of two methods

Authoring

Even though Figures 9 and 10 demonstrate the results using the averaging procedures of all available channels without prior study of the level of interference in each of them, the wavelet-bispectrum algorithm showed a better result. Due to averaging in the channel with the highest noise level in the Pan-Tompkins algorithm, errors occur in determining the positions of R-peaks. That is, the Pan-Tompkins algorithm is less noise-resistant than the proposed wavelet-bispectrum method. Figure 11 shows the results of the noise-resistant study of these two methods.

Figure 11 shows the results of the noise immunity assessment of the wavelet-bispectrum method with an orange line, and the dashed blue line for the Pan-Tompkins algorithm. The results demonstrate that the wavelet-bispectrum method allows for the search for the position of R-peaks with a probability of 100% for the signal-to-noise ratio in the range from 5 to 15 dB of values, when the Pan-Tompkins algorithm at a given level does not allow for a one hundred percent determination of their positions. Table 1 presents the results of the study of the effectiveness of the wavelet-bispectrum method, which was tested on the MIT-BIH database. A comparison with other methods is also demonstrated. The following parameters are used to study the effectiveness: correctly determined position (TP), incorrectly determined position (FP), missed



position (FN), as well as the sensitivity of the method, which is determined using the following equation and estimates the probability of correct determination of the positions of QRS complexes [7]:

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (5)$$

The results were verified using the Pan-Tompkins (P-T) methods [8], the MC-Dropout uncertainty method [20], the deep ensembles (5-Ensemble) [21], and the PN-QRS method [10], as well as the developed wavelet-bispectrum (W-B) method

Table 1 - Results of the efficiency of determining the position of R-peaks

Method	TP, number	FP, number	FN, number	Sensitivity, %
P-T	101469	5828	7965	92.72
MC-Dropout	108967	137	467	99.57
5-Ensemble	109238	30	196	99.82
PN-QRS	109340	24	94	99.91
W-B	109396	4	38	99.96

Authoring

The conducted studies demonstrate that the results obtained for the MIT-BIH database are better than the results of other authors, and the sensitivity of the proposed method reaches 99.96%, which indicates the high efficiency of this method. One of the main problems of the proposed approach is the dependence on the length of the initial signal. If the signal being processed has a high duration, then the calculations of the wavelet bispectrum will be much slower, due to the dependence of the number of frequency samples on the signal length in the wavelet transform, on which the dimension of the bispectrum will also depend. The higher it is, the longer the calculations are performed. One of the options for avoiding such a problem is to use window processing. When implementing the proposed method, this feature was taken into account and corrected by segmenting the signal and processing local fragments. Also, for a better calculation, a comparison of signal fragments in the found positions of QRS complexes has been added, after which a correlation analysis of the found fragments is performed, and fragments that have a correlation by modulus lower than 0.3 are removed and not taken into account as QRS complex positions. Using this



feature in processing, QRS complexes with distortions are not taken into account, which can lead to omissions in their definition. Because of this problem, it was decided to use a correlation analysis of signal fragments in such a way that fragments with distortions are stored in an additional variable, after which, if there were several of them, a correlation analysis of these fragments is performed; if they have a degree of correlation by modulus greater than 0.7, then these fragments are also considered as QRS complex positions. Thanks to this application of procedures, the method becomes invariant to interference, can search for distorted, non-stationary QRS complexes, and allows processing of long-term recordings.

Conclusions To improve the accuracy of determining the R positions of characteristic points of the ECG signal, a wavelet-bispectrum method for determining their positions was developed. The results of experimental studies demonstrate 99.96% sensitivity of determining the R-peak position for the MIT-BIH signal database. The use of the newly developed algorithm increased the sensitivity of determining the R-peak position by 7.24% compared to the basic Pan-Tompkins algorithm.

Supplementary Materials: Software code for generation of ECG signals and interferences is available by <https://sameni.org/OSET/>. Algorithms necessary for implementation of proposed technique are represented in the paper.

Author Contributions: Conceptualization, O.V. and A.T.; methodology, A.T.; software, O.V.; validation, O.V.; formal analysis, A.T.; investigation, A.T.; resources, A.T.; data curation, A.T.; writing—original draft preparation, O.V.; writing—review and editing, A.T.; visualization, O.V.; supervision, A.T.; project administration, A.T.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Data exploited for experimental study were generated by using <https://sameni.org/OSET/>.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References:

1. Kontaxis, S., Lazaro, J., Corino, V. D. A., Sandberg, F., Bailon, R., Laguna, P., & Sornmo, L. (2020). ECG-Derived Respiratory Rate in Atrial Fibrillation. *IEEE*



Transactions on Biomedical Engineering, Vol.67(3), P.905–914.

DOI: <https://doi.org/10.1109/tbme.2019.2923587>

2. Lupenko, S., & Butsiy, R. (2024). Express method of biometric person authentication based on one cycle of the ECG signal. *Scientific journal of the Ternopil national technical university*, Vol.1(113), P.100–110.

DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.01.100

3. Sun, S., Bresch, E., Muehlsteff, J., Schmitt, L., Long, X., Bezemer, R., Paulussen, I., Noordergraaf, G. J., & Aarts, R. M. (2023). Systolic blood pressure estimation using ECG and PPG in patients undergoing surgery. *Biomedical Signal Processing and Control*, 79, 104040.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.104040>

4. Kumar, B., Soundararajan, R., Natesan, K., & Santhi, R. M. (2023). Hybrid Feature Selection and Classifying Stages through Electrocardiogram (ECG) Signal for Heart Disease Prediction. *Y RAISE-2023*. MDPI. Vol. 59, №1. P. 1-10.

DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023059126>

5. Viunytskyi, O., & Shulgin, V. (2017). Signal processing techniques for fetal electrocardiogram extraction and analysis. *Y 2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. IEEE. P. 325–328.

DOI: <https://doi.org/10.1109/elnano.2017.7939772>

6. Shi, X., Yamamoto, K., Ohtsuki, T., Matsui, Y., & Owada, K. (2023). Unsupervised Learning-Based Non-Invasive Fetal ECG Multi-Level Signal Quality Assessment. *Bioengineering*, 10(1), 66. P. 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering10010066>

7. Ali, S. T. A., Kim, S., & Kim, Y.-J. (2024). Towards Reliable ECG Analysis: Addressing Validation Gaps in the Electrocardiographic R-Peak Detection. *Applied Sciences*, Vol. 14, № 21. P. 1-18.

DOI: <https://doi.org/10.3390/app142110078>

8. Pan, J., & Tompkins, W. J. (1985). A Real-Time QRS Detection Algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-32(3), № 3. P. 230-236.



DOI: <https://doi.org/10.1109/tbme.1985.325532>

9. Shulgin, V., & Viunytskyi, O. (2018). Spatio-temporal signal processing for fetus and mother state monitoring during pregnancy. *Y 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. IEEE. P. 677-680.

DOI: <https://doi.org/10.1109/dessert.2018.8409210>

10. Wang X. et al. PN-QRS: An Uncertainty-aware QRS-complex Detection Method for Wearable ECGs. // TechRxiv. 2022. P. 1-11.

DOI: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.21431673.v1>

11. Yochum, M., Renaud, C., & Jacquir, S. (2016). Automatic detection of P, QRS and T patterns in 12 leads ECG signal based on CWT. *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 25. P. 46–52.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.10.011>

12. Jamšek, J., Stefanovska, A., McClintock, P. V. E., & Khovanov, I. A. (2003). Time-phase bispectral analysis. *Physical Review E*, Vol. 68. P.1-12.

DOI: <https://doi.org/10.1103/physreve.68.016201>

13. Witte, H., Schack, B., Helbig, M., Putsche, P., Schelenz, C., Schmidt, K., & Specht, M. (2000). Quantification of transient quadratic phase couplings within EEG burst patterns in sedated patients during electroencephalic burst-suppression period. *Journal of Physiology-Paris*, Vol. 94. P. 427-434.

DOI: [https://doi.org/10.1016/s0928-4257\(00\)01086-x](https://doi.org/10.1016/s0928-4257(00)01086-x)

14. Newman, J., Pidde, A., & Stefanovska, A. (2021). Defining the wavelet bispectrum. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol. 51. P. 171-224.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acha.2020.10.005>

15. Goupillaud, P., Grossmann, A., & Morlet, J. (1984). Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration*, Vol. 23, № 1. P. 85-102.

DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7142\(84\)90025-5](https://doi.org/10.1016/0016-7142(84)90025-5)

16. Delprat, N., Escudie, B., Guillemain, P., Kronland-Martinet, R., Tchamitchian, P., & Torresani, B. (1992). Asymptotic wavelet and Gabor analysis: extraction of instantaneous frequencies. *IEEE Transactions on Information*



Theory, Vol. 38. P. 644-664.

DOI: <https://doi.org/10.1109/18.119728>

17. Moody, G. B., & Mark, R. G. (2001). The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, Vol. 20, № 3. P. 45-50.

DOI: <https://doi.org/10.1109/51.932724>

18. Wagner, P., Strodthoff, N., Bousseljot, R.-D., Kreiseler, D., Lunze, F. I., Samek, W., & Schaeffter, T. (2020). PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset. *Scientific Data*, Vol. 7. P. 1–15.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0495-6>

19. Maršánová, L., Němcová, A., Smíšek, R., Vitek, M., & Smital, L. (2019). Advanced P Wave Detection in Ecg Signals During Pathology: Evaluation in Different Arrhythmia Contexts. *Scientific Reports*, 9(1), 19053.

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55323-3>

20. Gal Y., Ghahramani Z. Dropout as a bayesian approximation: Representing model uncertainty in deep learning // International Conference on Machine Learning. PMLR. 2016. P. 1050–1059.

21. Rahaman R. et al. Uncertainty quantification and deep ensembles // Advances in Neural Information Processing Systems. 2021. Vol. 34. P. 1-16.

DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.08792>

Scientific adviser: Doctor of Technical Sciences, prof. Totsky O.V.

Article sent: 19.09.2025

© Viunytskyi O.H.



UDC 621.391

BISPECTRAL FILTERING OF ECG SIGNALS

Viunyt'skyi O.H.*Ph.D., as. prof.*

ORCID: 0000-0002-1806-6193

Totsky O.V.*d.t.s., prof.**National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute",
Kharkiv, Vadim Manka, 17, 61070*

Abstract. Due to the influence of a large number of interference contributions contained in the recorded ECG signal, advanced techniques and algorithms are commonly used to extract the useful signal in noise background environment. However, existing filtering techniques have a large number of problems when using them for ECG signal processing. One of the main requirements is to develop such technique that would allow for the gradual measured data to carry out the accumulation and averaging procedures to suppress effectively the interferences. In addition, this technique should also be invariant to the typical random ECG signal time shifts that sufficiently destroy coherent signal accumulation. It should also be able extracting important information about the phase coupling arising due to the nonlinear processes in cardiovascular activity. One of such signal processing technique having noted features is bispectrum-based data processing technique. A novel technique of adaptive nonlinear filtering based on bispectral signal processing is proposed in the present paper. Suggested technique provides an average improvement by 1 dBW of the filtering performance in the range of signal-to-noise ratio (SNR) variations from -20 to 0 dBW. However, at a higher SNR, the proposed technique provides a worse result due to the contribution of distortions to the initial signal. Note, that suggested bispectrum-based filter is more effective to be used to remove additive gaussian noise components from the ECG signal at a low SNR. The advantage of the proposed technique is invariance to non-stationary changes in the waveform of the ECG signal which makes the proposed method adaptive and robust to any changes.

Key words: ECG signal, bispectrum, bispectrum-based signal processing, nonlinear filtering.

Introduction.

Due to the presence of a large number of interference contributions in the ECG signal, various advanced techniques and algorithms are used to extract the useful signal in noise environment. Such common techniques as independent component analysis technique [1], filtering technique [2], their combinations [3] to achieve the best result [4], wavelet transform [5], techniques of decomposition of signals into empirical modes [6], correlation techniques [7], as well as non-adaptive methods [8] are widespread today. In turn, they can be divided into single-channel methods [9] and multi-channel methods [10,11]. Standard Kalman filters (KF) were built to process stationary processes. However, since medical signals are more related to non-stationary processes and they have a nonlinear nature, modifications of KF such as the extended



Kalman filter (EKF) are more often used to implement extracting an ECG signal from a mixture of a useful signal and noise. Its peculiarity is the following. The result is the separation of ECG components while other components and interference components of the ECG signal are considered as noise [12]. This approach allows for the evaluation of the noise of the original signal value with new signal values. Therefore, this method is actively used in long-term monitoring as it allows adapting to each specific case [13] for the removal of nonlinear interference.

There is also another modification of this technique called extended Kalman smoothing (EKS). It is based on the EKF using inverse smoothing [14,15]. The ECG signal is processed by determining the average value of the ECG component heart rate which is then approximated using a Gaussian kernel. The signal is then amplified using a gain factor which is used to correlate the observed signals and taking into account the dynamics of the system. However, these filters are not adaptive to non-stationary changes in the ECG signal in which the shape of the QRS complexes may change during signal recording due to the influence of other interference contributions. Some QRS complexes may be removed after using this type of filter. However, it will lead to further errors in ECG signal processing.

There are also independent component analysis techniques. Their concept is based on the fact that the source is statically independent while the ECG signal is a mixture of signals at the output [16]. To estimate each individual component of the ECG signal, a separation matrix is used. It allows by multiplication to obtain separate estimates for each separate source of the ECG signal. It should be noted that the separation matrix cannot be calculated exactly. Therefore, when using blind source separation approach the approximate estimates of the original source signals are obtained. These techniques belong to the class of second-order estimates which are called Independent Component Analysis (ICA) [17-18]. There is also another class of these methods called as periodic component analysis or periodic component analysis (π CA) [19-20]. The main problem when using ICA methods is that after obtaining estimates of individual sources of the ECG signal, it is impossible to reliably determine the order of the sources, as well as the scaling of the sources and their sign. However, a large number of modifications



have been introduced that based on these algorithms. Wavelet transform techniques are also actively used. They are also implemented as methods of nonlinear filtering of ECG signals combining them with other nonlinear filtering methods [21], thereby replacing Kalman filters or using them in combination [21]. In [22], the effectiveness of using simlet wavelets for preprocessing of ECG signals has been demonstrated in order to reduce the level of noise in the initial signal. However, this method is not adaptive to nonlinear changes in the signal and to implement such adaptability. It is necessary to use modified threshold values, adaptive thresholds or hard thresholds which will allow when using the proposed approach to remove noise components from the ECG signal as much as possible.

Taking into account these peculiarities and problems, the wavelet transform is also not suitable for solving the problem of filtering ECG signals due to the need for preliminary calculations. Accordingly, it is necessary to determine an analysis technique that would allow for the gradual accumulation and averaging of information to suppress the maximum amount of interference arising due to such accumulation. It should also be invariant to random signal shifts. It should also have information exclusively about the phase coupling properties contained in the nonlinear ECG signals. One of such ECG signal analysis technique is bispectrum-based signal processing.

Bispectrum is a complex-valued function of two frequency variables. Bispectrum is given by its bimagnitude and biphas functions. The estimate of the bispectral density (third-order spectral density or cumulative spectrum) allows us to correctly describe the statistical characteristics of the observed process and determine the presence of correlations between spectral components. The main difference between the bispectrum and the energy spectrum is the preservation of phase information and the possibility of its restoration. Expression for the bispectrum estimate can be written as discrete function of the following triple product form:

$$B_x(p, q) = |B_x(p, q)| \exp[j\varphi(p, q)] = \langle X_m(p) X_m(q) X_m^*(p+q) \rangle_M, \quad (1)$$

where $B_x(p, q)$ is a complex-valued function of two discrete frequency variables; $|B_x(p, q)|$ is the bimagnitude; $\varphi(p, q)$ is the biphas; $\langle \dots \rangle$ denotes ensemble averaging;



$p = -I+1, \dots, I-1$ and $q = -I+1, \dots, I-1$ are the frequency indices; $X_m(\dots)$ is the discrete Fourier transform computed for m -th realization of the process under study; $m = 1, 2, \dots, M$ is the number of observed realization; symbol $*$ denotes complex conjugation; $j = (-1)^{1/2}$

Note the useful features of bispectrum. First, bispectrum of gaussian noise tends to zero. Second, bispectrum is able to extract phase coupling contributions contained in nonlinear process. Third, bispectral signal statistical processing can provide coherent accumulation for the number of signal realizations that are randomly shifted during the averaging time interval.

Materials and Methods

An open-source electrophysiological toolbox (OSET) [23] has been developed for the generation and study of ECG signals. This toolbox includes tools such as ECG signal generators and noise generators based on real-life signal models. OSET is a collection of open-source code for generating, modeling, processing, and filtering biological signals released in June 2006. The toolbox is distributed under the Berkeley Software Distribution (BSD) license and can be used freely. Figure 1 shows an example of a generated ECG signal.

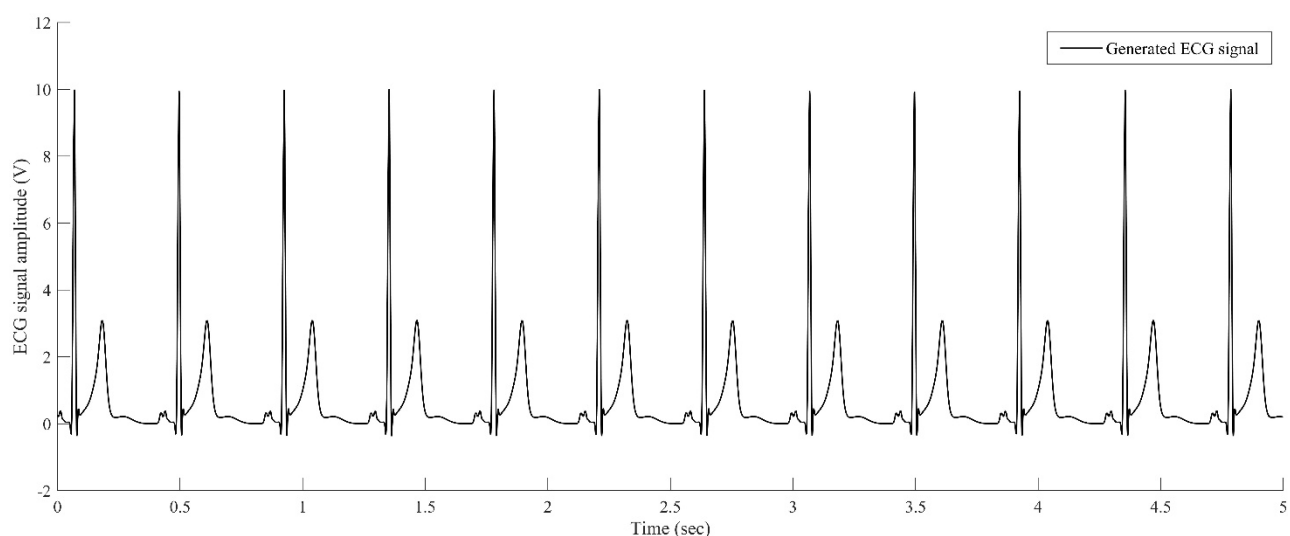


Figure 1 - Generated ECG signal

Authoring

The OSET system allows to create a number types of noises, namely white noise, colored noise, simulate noises caused by muscle contractions, electrode movement, and



baseline drift. There is also the possibility of generating combined noise which consists of the previous ones. For example, it is possible to simulate the simultaneous superposition of interference caused by electrode movements, muscle contraction, and baseline drift. This combined interference can be used when testing the noise immunity of the developed methods or testing adaptive filters to suppress these classes of noise that arise when recording real data. Therefore, the system is flexible for studying the ECG signal processing techniques.

Figure 2 shows an example of generating an ECG signal with superimposed white noise with a signal-to-noise ratio of 30 dB, as well as a combination of noises caused by muscle contraction, electrode movement, and baseline drift, and also with a signal-to-noise ratio of 30 dB.

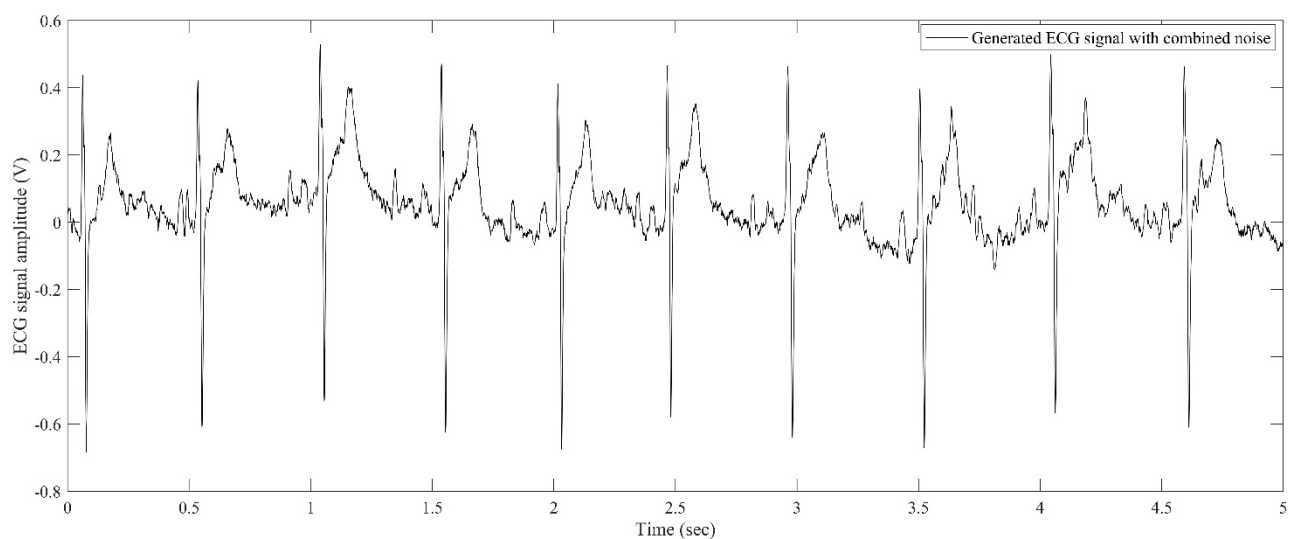


Figure 2 - Mixture of generated signal and combined noise

Authoring

Using this ECG signal generation system, it is possible to study the efficiency of filtering since the SNR is known, as well as the parameters of the signals themselves which will also allow investigating the degree of distortions introduced by filtering into the shape of the initial signals.

Bispectral estimation of the ECG signal is performed at the first stage of data processing. To do this, bispectral averaging is performed in the $F_s/2$ window of the signal with the same step, where F_s is the sampling frequency of the ECG signal. In



this case, noise components are removed during such accumulation. Figure 3 demonstrates the averaged bimagnitude estimate (1) for the ECG signal in the form of a contour image. Figures 4 and 5 demonstrate real and imaginary parts of bispectrum estimate (1), respectively.

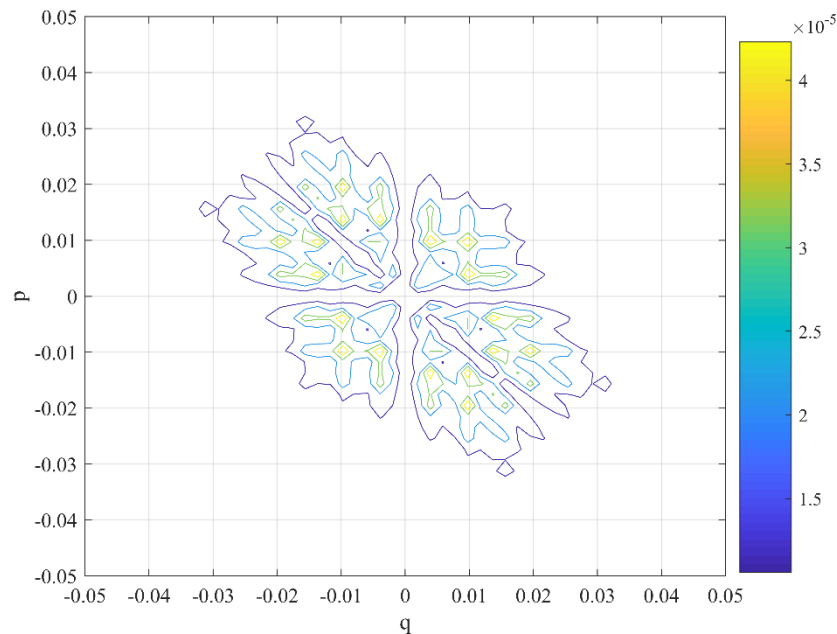


Figure 3 - Bimagnitude estimate computed for ECG signal

Authoring

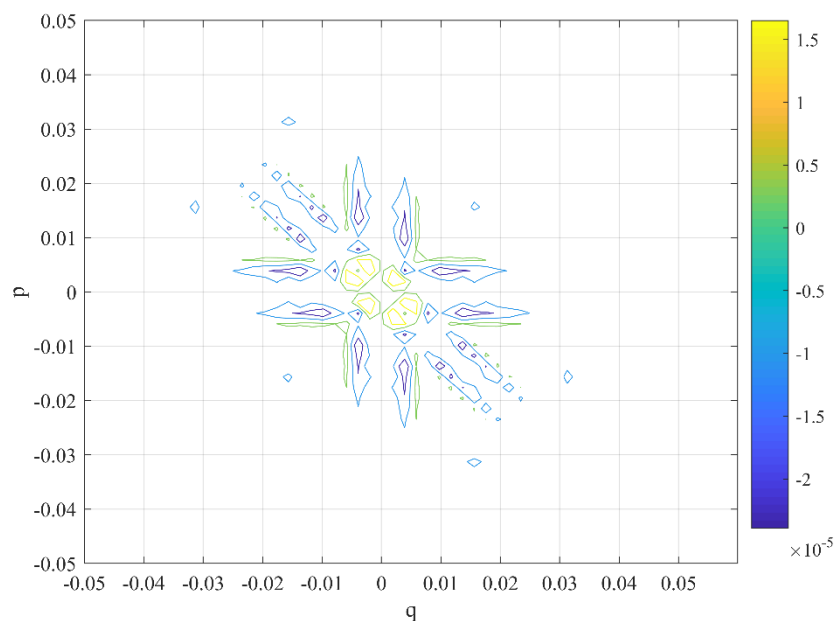


Figure 4 - Real part of bispectrum estimate computed for ECG signal

Authoring

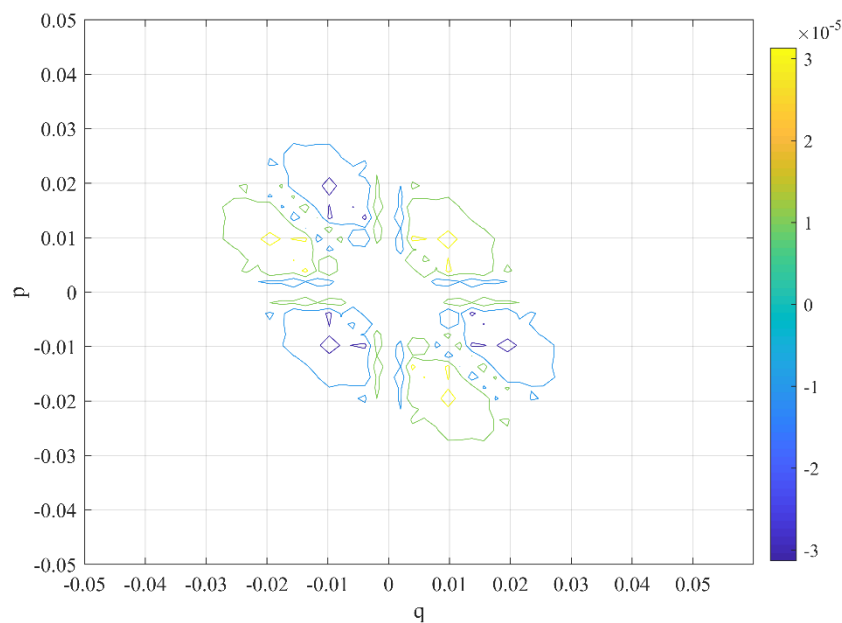


Figure 5 - Imaginary part of bispectrum estimate computed for ECG signal

Authoring

At the second data processing step, the filter mask is calculated. In order to calculate the mask for filtering, the real and imaginary parts of the bispectral estimate are used. To obtain a mask from the real or imaginary part, the matrix is converted into a gray scale image. Figure 6 demonstrates the example of the matrix conversion.

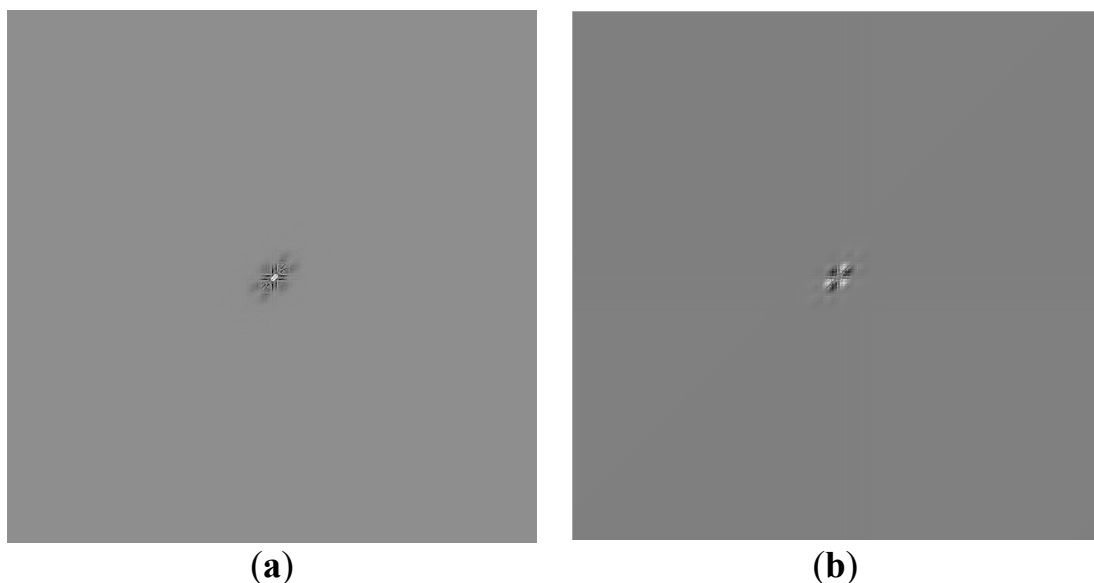


Figure 6 - Example of transform into the gray scale image performed for real (a) and imaginary (b) part of bispectral estimate. The images are mirrored to their counterparts in Fig. 4 and 5, and for a larger expansion along the axes

Authoring



After computations, correspondent matrices are obtained in the image intensity withing the range from 0 to 1. In order to compute the mask for the filter, it is necessary to convert the image into binary format so that the final matrix contains intensity values of either 0 or 1. Accordingly, filtering will occur in intensity zones contained 1, and no filtering will occur in zones contained 0. A threshold of 0.5 is selected to calculate the binary image. Figure 7 shows the example of computing binary matrices for the real and imaginary parts of bispectrum estimate.

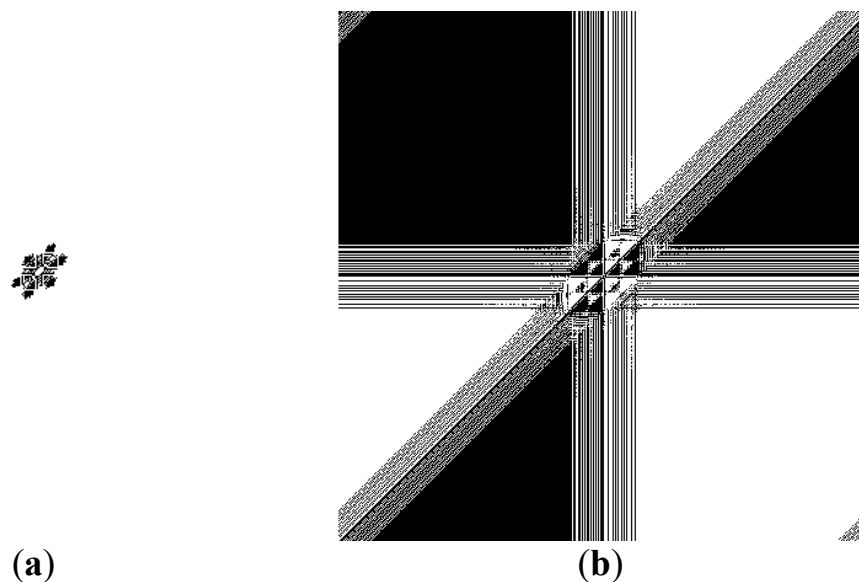


Figure 7 - Example of transform to the binary images performed for real (a) and imaginary (b) part of ECG signal bispectrum estimate. The images are mirrored to their counterparts in Fig. 4 and 5, and for a larger expansion along the axes

Authoring

After computing these matrices, the signal is filtered. At the very beginning processing step, $F_s/4$ zero values are added to the left and right of the signal from the signal. This is necessary because the filtering must be performed from the very beginning of the signal to the very end. After that, a sliding window is determined corresponding to the size of the matrix of the bispectral estimate. It is equal to $F_s/2$. This window moves along the signal with a step of one sample, and the bispectrum estimate is calculated for the signal that falls into the window. After that, the bispectrum estimate obtained for the local fragment of the signal is divided into real and imaginary parts. Obtained real and imaginary local parts are multiplied by binary



images as demonstrated in Fig. 7. After that, the obtained matrix is filtered by an averaging filter with a window size of 5×5 samples. Next, a new matrix of local bispectral estimate is formed from the filtered matrices. A signal is converted using the inverse transform performed from bispectral to the time space. Next, the obtained signal is averaged over the entire range, and one value is stored into the central element of the window in a new array that will be responsible for the filtered signal. Next, the window is shifted by one element and all processing steps are repeated until the processing of the entire signal is completed. At the very end of the data processing, zero values that were added at the very beginning are removed. Below a parametric method for signal recovery from bispectral transform [24] is represent.

Algorithm 1. Signal reconstruction from bispectrum (RecBisp)

1. Initialize Alfa[$K \times K$], Beta[$K \times K$] to zeros
2. Compute $md2 \leftarrow \text{round}(K / 2)$
3. For $i = 1$ to $md2+1$
4. For $q = 1$ to i and $(q + i - 1 \leq md2+1)$
5. Beta[i, q] $\leftarrow$ phase of Bisp[i, q]
6. Alfa[i, q] $\leftarrow$ magnitude of Bisp[i, q]
7. End For
8. End For
9. Set Alfa[1,1] $\leftarrow$ small value if zero
10. Compute $d[1] \leftarrow$ cube root of Alfa[1,1]
11. Compute $d[2] \leftarrow \text{sqrt}(\text{Alfa}[2,1] / d[1])$ if $d[1] \neq 0$
12. Initialize $\text{recf2}[1] \leftarrow \exp(-j \cdot \text{Beta}[1,1])$
13. If $\text{usenoise} = 1$, set $\text{recf2}[1:2] \leftarrow \exp(j \cdot \text{noisephase}[1:2])$
14. For $p = 2$ to $md2+1$
15. For $q = 1$ to p while $(p+q-1 \leq md2+1)$
16. Update $d[p]$, $d[p+q-1]$ based on Alfa and noise
17. Compute $\text{reincr} \leftarrow \exp(j \cdot (\arg(\text{recf2}[p]) + \arg(\text{recf2}[q]) - \text{Beta}[p,q]))$
18. Update $\text{recf2}[p+q-1]$, $\text{cour}[p+q-1]$, $\text{sred\_a}[p+q-1]$
19. End For
20. End For
21. Mirror spectrum: $d[K-p+1] \leftarrow d[p+1]$, $\text{re}[K-p+1] \leftarrow -\text{re}[p+1]$
22. Compute $y\_est \leftarrow$ real part of $\text{IFFT}(d \cdot \exp(j \cdot \text{re}))$
23. Return y_est

The main filtering algorithm is represented below.



Algorithm 2. Bispectrum Filtering Procedure

1. Set default values for msk1, msk2, type_filter, and f_size if not provided
2. Pad the input signal with fs/4 samples at both ends using edge repetition
3. Define a list of window start indices (ii) using step size st
4. If the final window would exceed signal length, extend ii accordingly
5. Compute overlap index k and determine last_element for averaging
6. Initialize output signal container signal_result
7. For each index i in ii:
 8. Extract a signal window of length s_w
 9. Compute its bispectrum Bispecd
 10. Separate real and imaginary parts of the bispectrum
 11. Create 2D filter kernel H based on type_filter and f_size
 12. Apply H to real and imaginary parts using masks msk1 and msk2
 13. Combine filtered parts into complex bispectrum bisp_n
 14. Reconstruct time-domain segment Sig_M from bisp_n via RecBisp
 15. Align Sig_M with original window using circular shifts:
 16. For each shift m:
 17. Compute correlation between shifted Sig_M and original
 18. End For
 19. Find the best alignment based on maximum correlation
 20. Apply the optimal shift to Sig_M
 21. Merge Sig_M into signal_result based on the value of st:
 22. If st == s_w → concatenate directly
 23. If st == 1 → retain original edges and average mid-samples
 24. If $s_w/2 \leq st < s_w$ → average overlapping regions with buffer
 25. Else → raise error if step size is invalid
 26. Update position index k
27. End For
28. Normalize signal_result by (max_si / max_re)
29. Remove fs/4 padding samples from both ends
30. Return result_filtering as the final filtered signal

To perform bispectral signal transform, you can use the original code at the link: https://github.com/synergetics/HOSA_Octave, function 'BISPECD.m'. The following parameters must be set: nfft = signal length in samples; wind = 0; nsamp = signal length in samples; overlap leave unchanged. Only with this use will the RecBisp algorithm be able to restore the original signal from the bispectral estimate. Or you can use the simplified version given below.



Algorithm 3. Bispectrum Computation

1. If isfft is not provided, compute FFT of input signal $y \rightarrow \text{ffty}$
2. Initialize bispectrum matrix Bisp with zeros
3. Set $\text{md2} \leftarrow \text{round}(K / 2)$
4. If $\text{ch} == 1$, initialize Bisp as a full $K \times K$ zero matrix
5. If isfft exists:
6. Set $\text{ibnet} \leftarrow K$, $\text{jbnet} \leftarrow K$, $\text{Bisp} \leftarrow \text{zeros}(K, K)$
7. Else:
8. Set $\text{ibnet} \leftarrow \text{md2} + 1$, $\text{jbnet} \leftarrow \text{md2} + 1$
9. Set $\text{md2} \leftarrow K / 2$ (reassigned, possibly for loop bounds)
10. For ib from 1 to ibnet :
11. For jb from 1 to ib :
12. If $(\text{ib} + \text{jb} - 1) \leq K$:
13. Compute triple product:
14. $\text{Bisp}(\text{ib}, \text{jb}) \leftarrow \text{ffty}(\text{ib}) \cdot \text{ffty}(\text{jb}) \cdot \text{conj}(\text{ffty}(\text{ib} + \text{jb} - 1))$
15. Enforce Hermitian symmetry:
16. $\text{Bisp}(\text{jb}, \text{ib}) \leftarrow \text{Bisp}(\text{ib}, \text{jb})$
17. End For
18. End For
19. Return Bisp

The difference of this function is that it does not calculate the symmetric sections of the bispectral estimate.

To estimate the effect of filtering on the parameters of the signal under study, we can consider SNR which is determined by the following expressions:

$$SNR = D_s / D \quad (2)$$

$$D_s = 1/n \sum_{i=1}^n |x_i - \mu_s|^2 \quad (3)$$

$$\mu_s = 1/n \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

where D_s is the variance of initial variable signal upon absence of additive gaussian noise; D is the variance of the difference between filtered and initial signal; x_i is the signal before filtering; μ_s is the mean value of initial signal; n is the number of signal samples.

In order to represent the values (2) in dB, the following expression must be used

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10}(SNR) \quad (5)$$



where SNR_{dB} is the SNR in dB; SNR is the value given in (2).

To study the effectiveness of filtering, one can examine the SNR values before and after filtering. However, this cannot be done using recorded real-life signals, because the data records do not contain information about these SNR values prior to the use of noise filtering procedures.

Results

Figure 8 shows the filtering result for an artificial signal generated by the OSET model with combined noise superimposed on the ECG signal with a SNR value equals to 20 dB.

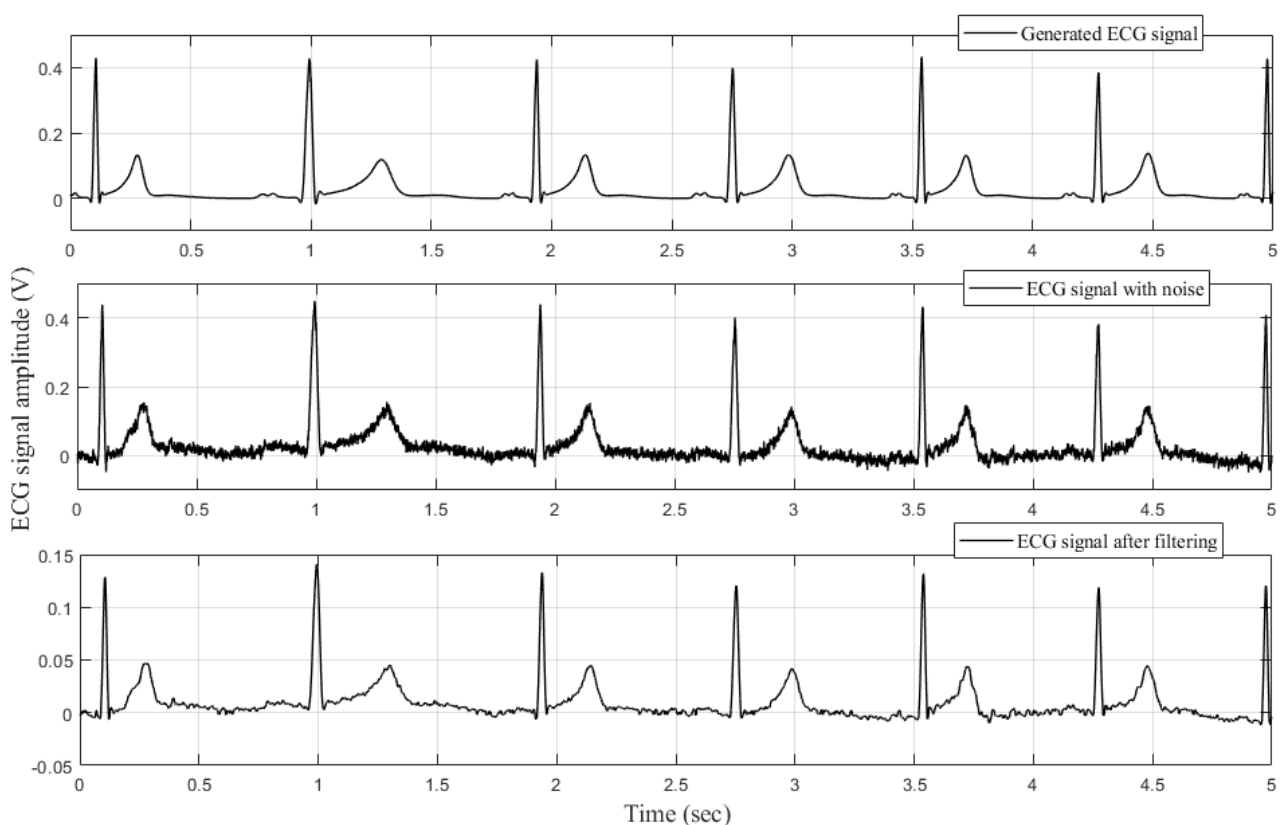


Figure 8 - Results obtained using bispectral filtering. The top curve is the generated ECG signal before filtering, and the bottom curve is after bispectral filtering

Authoring

Proposed filter, by calculating the filtering mask which is defined as a binary matrix of the bispectral estimate is adaptive to the waveform changes. Therefore, it can be used with any waveform type of initial signal. Figure 9 shows the filtering result for



combined noise superimposed on the ECG signal with a SNR value equals to 5 dB.

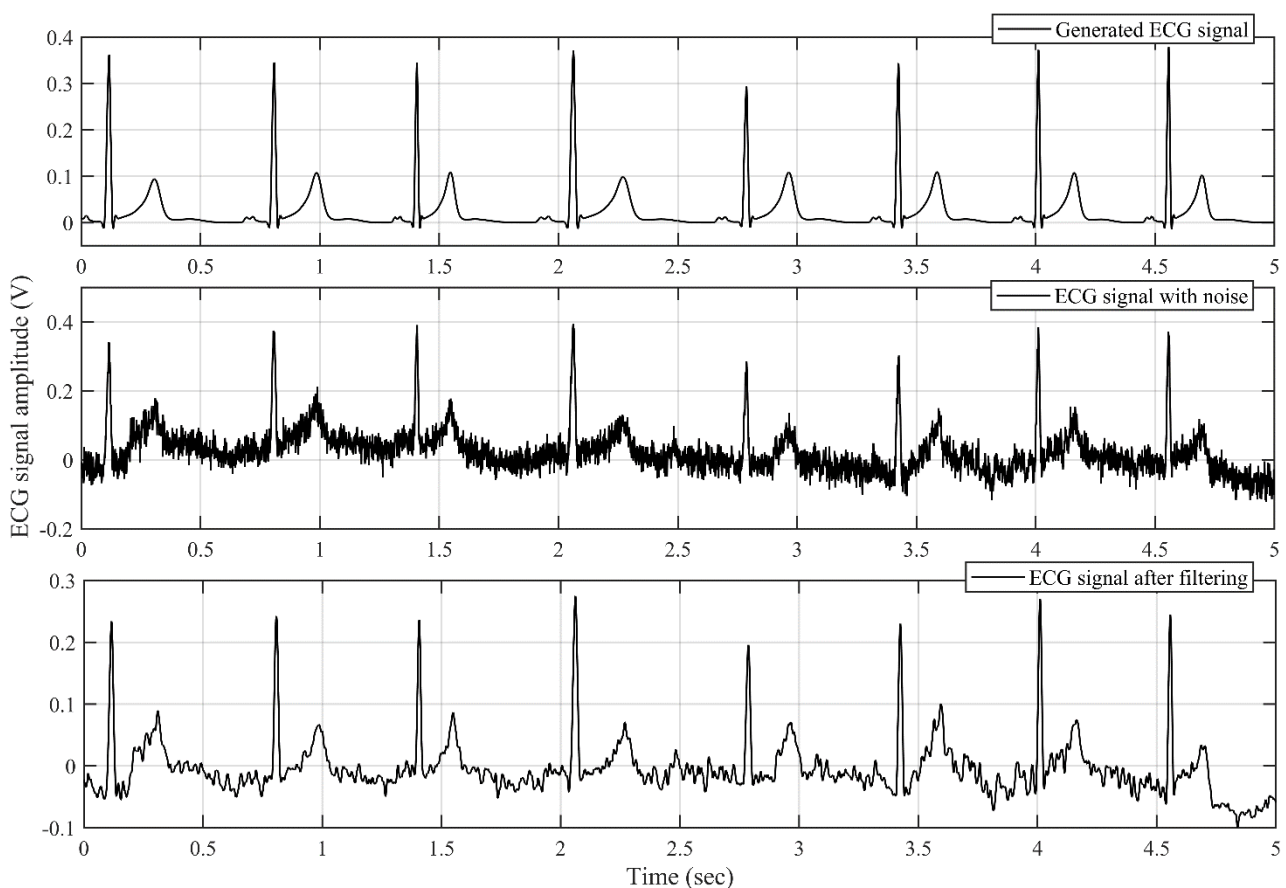


Figure 9 - Results obtained using bispectral filtering. The top curve is the generated ECG signal before filtering, and the bottom curve is after bispectral filtering

Authoring

The results of study of the filtering performance in comparison with common nonlinear filters are demonstrated below. It has been considered the following filters: averaging and median filters (AF and MF, respectively) with different window sizes (1x3, 1x7, 1x11, 1x23), as well as wavelet filters (Daubechies (db4), Symlets (sym4), Fejér-Korovkin (fk4), Coiflets (coif4)) with decomposition into 5 levels. Corresponding results are demonstrated in Table 1.

From the results of Table 1, it can be seen that the proposed bispectral filter provides an average of 1 dBW or 1.25 W better filtering result within the SNR range from -20 to 0 dBW. However, at a higher SNR value it provides a worse result due to the contribution of distortions to the initial signal.

**Table 1 - Performance of the filtering provided by different types of filters**

Filter	SNR before filtering, dBW														
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	SNR after filtering, dBW														
AF 1x3	-15	-10	-5	0	4,8	9,7	15	20	24	29	33	32	37	36	37
AF 1x7	-11	-6	-1	3,1	8,1	13	18	19	18	20	22	19	23	21	23
AF 1x11	-10	-4	0,4	4,4	8,7	12	17	14	12	14	16	13	16	15	16
AF 1x23	-6	-2	1,7	3,9	5,5	7,1	10	7,3	5,7	6,6	7,8	5,9	8,3	7,5	7,9
MF 1x3	-16	-11	-7	-2	3,6	8,5	14	18	23	28	33	36	41	43	45
MF 1x7	-13	-8	-3	1,6	6,6	11	16	20	22	26	29	25	30	28	30
MF 1x11	-11	-6	-1	3,1	7,9	12	17	18	16	18	21	17	22	20	21
MF 1x23	-9	-3	0,2	3,1	5,4	7,7	12	8,0	5,8	6,8	8,7	6,2	9,3	8,2	8,8
db4	-6	-2	2,8	6,6	11	13	20	21	23	27	31	27	35	32	34
sym4	-6	-1	2,7	6,4	11	15	21	22	23	26	29	26	34	31	32
fk4	-6	-1	3,0	6,8	11	14	20	21	22	24	27	28	29	27	28
coif4	-6	-1	2,7	6,4	11	14	20	22	23	26	28	29	31	29	30
Bisp	-5	0	3,3	7,2	12	13	14	15	14	15	15	16	14	15	15

Authoring

Discussion

It should be noted that the developed algorithm can only work with periodic signals such as ECG, PPG, and others. That is, with signals in which some information is repeated over time as, for instance, for QRS-complex commonly contained in ECG signals. If the signal is not periodic, i.e., has significant changes over time, then the bispectral evaluation of the signal will give averaged information over all spectral components in the signal. That is why, the mask will be used incorrectly during filtering. Also, it is worth testing the developed algorithm on real signals to make sure of its resistance to nonlinear changes that occur in them.

The calculations necessary for obtaining bispectral estimate and reconstructed signal requires considerable computations. Proposed technique was developed so that all data processing procedures are performed using a sliding window. The window size is of 512 samples, and the bispectral estimate matrix itself is of $512 \times 512 = 262144$ complex values. Each sample is allocated 64 bits which gives 16 777 216 bits for the real part and 16 777 216 bits for the imaginary part. One matrix weighs about 2 MB. Since the memory stores one averaged bispectral estimate for the entire record and one local bispectrum for the current signal fragment. Hence, about 4-6 MB of RAM is needed to accumulate bispectral estimates.



As for real-time processing, proposed technique is not currently implemented yet. However, since proposed filtering is performed by window mode, this procedure can be implemented in the future. But it is worth noting that the filtering performance in this mode will change over time, since more separate bispectral estimates will be added to the averaged bispectral estimate over time for sufficiently suppression the noise level in the bispectral estimate. This will allow us to calculate the filter mask more accurately and obtain certain benefit.

It is necessary to study in more detail the direction and possibility of applying the developed algorithm to other applications and problems. The study of the influence of nonlinear changes in ECG signals such as arrhythmia or artifacts associated with pathologies will be studied additionally by us in the future. Given the obtained results, proposed filtering algorithm would be best applied to the important problems of extracting fetal ECG from the noninvasive abdominal signal performed after removing the interference contribution of maternal ECG. It may be necessary to use adaptive thresholds, but the algorithm for calculating the adaptive threshold is not yet clear, but we will also study this issue in the future.

Conclusions

The paper proposes an adaptive technique for nonlinear filtering of the ECG signals based on bispectral signal processing. In this study, we used a noise mixture (White Noise (WN); Colored Noise (CN); Real Muscle Artifacts (MA); Real Electrode Movements (EM) and Real Baseline Wander (BW)) with the same signal-to-noise ratio to investigate performance of interference immunity provided by proposed technique. Proposed technique provides an average improvement by $1 \text{ dBW} \pm 0.73 \text{ SD}$ or $1.25 \text{ W} \pm 0.73 \text{ SD}$ of the filtering result in the range of signal-to-noise ratio values from -20 to 0 dBW . However, at a higher SNR value, the proposed technique provides a worse result due to the contribution of distortions to the initial signal unlike existing common methods. Proposed bispectrum-based type of filter is recommended to be more optimally used to remove noise contributions from the ECG signal at a low SNR. The advantage of the proposed technique is invariance to non-stationary changes in the shape of the ECG signal during recording, as well as the ability to adapt to each



individual recording by calculating binary matrices for filtering from the bispectral estimate the signal being processed. This makes the proposed technique adaptive and robust to any changes.

Supplementary Materials: Software code for generation of ECG signals and interferences is available by <https://sameni.org/OSET/>. Algorithms necessary for implementation of proposed technique are represented in the paper.

Author Contributions: Conceptualization, O.V. and A.T.; methodology, A.T.; software, O.V.; validation, O.V.; formal analysis, A.T.; investigation, A.T.; resources, A.T.; data curation, A.T.; writing—original draft preparation, O.V.; writing—review and editing, A.T.; visualization, O.V.; supervision, A.T.; project administration, A.T.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: Data exploited for experimental study were generated by using <https://sameni.org/OSET/>.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References:

1. Jaros, R., Barnova, K., Vilimkova Kahankova, R., Pelisek, J., Litschmannova, M., & Martinek, R. (2023). Independent component analysis algorithms for non-invasive fetal electrocardiography. PLOS ONE, 18(6), e0286858.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286858>
2. Sarafan, S., Le, T., Lau, M. P. H., Hameed, A., Ghirmai, T., & Cao, H. (2022). Fetal Electrocardiogram Extraction from the Mother's Abdominal Signal Using the Ensemble Kalman Filter. Sensors, 22(7), 2788.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s22072788>
3. Jaros, R., Martinek, R., Kahankova, R., & Koziorek, J. (2019). Novel Hybrid Extraction Systems for Fetal Heart Rate Variability Monitoring Based on Non-Invasive Fetal Electrocardiogram. IEEE Access, 7, 131758–131784.
DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2933717>
4. Barnova, K., Martinek, R., Jaros, R., Kahankova, R., Matonia, A., Jezewski, M., Czabanski, R., Horoba, K., & Jezewski, J. (2021). A novel algorithm based on



ensemble empirical mode decomposition for non-invasive fetal ECG extraction. PLOS ONE, 16(8), e0256154.

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256154>

5. Cardenas-Lattus, J., & Kaschel, H. (2017). Fetal ECG multi-level analysis using daubechies wavelet transform for non-invasive maternal abdominal ECG recordings. Y 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON). IEEE.

DOI: <https://doi.org/10.1109/chilecon.2017.8229511>

6. P, G., KK, S., & SD, J. (2018). Fetal heart rate extraction from abdominal electrocardiograms through multivariate empirical mode decomposition. International Journal of Cardiovascular Research, 07.

DOI: <https://doi.org/10.4172/2324-8602-c4-014>

7. Hasan, M. A., Reaz, M. B. I., & Ibrahimy, M. I. (2011). Fetal electrocardiogram extraction and R-peak detection for fetal heart rate monitoring using artificial neural network and Correlation. Y 2011 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2011 - San Jose). IEEE.

DOI: <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2011.6033193>

8. Preethi, D., & Valarmathi, R. S. (2018). An Analysis of FIR Filter Algorithms in Fetal Heart Rate Monitoring. Y 2018 International Conference on Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT). IEEE.

DOI: <https://doi.org/10.1109/icacct.2018.8529574>

9. Bandi, S., & Dutt, V. B.S. S. I. (2023). Single-channel fetal ECG extraction method based on extended Kalman filtering with singular value decomposition algorithm. Soft Computing.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08421-4>

10. BAŞPINAR, U., & KÖYLÜ, Y. (2023). DETECTION OF FETAL ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS FROM MATERNAL ABDOMINAL ECG RECORDINGS. Journal of Scientific Reports-A, (052), 266–278.

DOI: <https://doi.org/10.59313/jsr-a.1173530>

11. Sameni, R., Jutten, C., & Shamsollahi, M. B. (2006). What ICA Provides for



ECG Processing: Application to Noninvasive Fetal ECG Extraction. Y 2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. IEEE.
DOI: <https://doi.org/10.1109/isspit.2006.270882>

12. BAŞPINAR, U., & KÖYLÜ, Y. (2023). DETECTION OF FETAL ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS FROM MATERNAL ABDOMINAL ECG RECORDINGS. Journal of Scientific Reports-A, (052), 266–278.
DOI: <https://doi.org/10.59313/jsr-a.1173530>

13. Behar, J. (2014). Extraction of clinical information from the non-invasive fetal electrocardiogram [Thesis, University of Oxford].
<http://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:94b866ff-dd57-4446-85ae-79dd6d983cac>

14. Andreotti, F. Maternal signal estimation by Kalman filtering and Template Adaptation for fetal heart rate extraction. Computing in Cardiology 2013, Zaragoza, Spain, 2013, pp. 193-196.

15. Andreotti, F., Riedl, M., Himmelsbach, T., Wedekind, D., Wessel, N., Stepan, H., Schmieder, C., Jank, A., Malberg, H., & Zaunseder, S. (2014). Robust fetal ECG extraction and detection from abdominal leads. Physiological Measurement, 35(8), 1551–1567.
DOI: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/8/1551>

16. Ravindrakumar, S., & Raja, K. B. (2010). Fetal ECG extraction and enhancement in prenatal monitoring — Review and implementation issues. Y Computing (TISC). IEEE.
DOI: <https://doi.org/10.1109/tisc.2010.5714599>

17. Zarzoso, V., Millet-Roig, J., & Nandi, A. K. (2000). Fetal ECG extraction from maternal skin electrodes using blind source separation and adaptive noise cancellation techniques. Y Computers in Cardiology 2000. Vol.27. IEEE.
DOI: <https://doi.org/10.1109/cic.2000.898549>

18. Martinek, R., Kahankova, R., Jezewski, J., Jaros, R., Mohylova, J., Fajkus, M., Nedoma, J., Janku, P., & Nazeran, H. (2018). Comparative Effectiveness of ICA and PCA in Extraction of Fetal ECG From Abdominal Signals: Toward Non-invasive Fetal Monitoring. Frontiers in Physiology, 9.



DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00648>

19. Sameni, R., Jutten, C., & Shamsollahi, M. B. (2010). A Deflation Procedure for Subspace Decomposition. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58(4), 2363–2374.

DOI: <https://doi.org/10.1109/tsp.2009.2037353>

20. Kharabian, S., Shamsollahi, M. B., & Sameni, R. (2009). Fetal R-wave detection from multichannel abdominal ECG recordings in low SNR. *Y 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE.

DOI: <https://doi.org/10.1109/iembs.2009.5333578>

21. Kumar, P., Sharma, S. K., & Prasad, S. (2016). CAD for the Detection of Fetal Electrocardiogram through Neuro-Fuzzy Logic and Wavelets Systems for Telemetry. *Y 2016 Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)*. IEEE.

DOI: <https://doi.org/10.1109/cict.2016.122>

22. Martinek, R., Kahankova, R., Nedoma, J., Fajkus, M., & Cholevova, K. (2018). Fetal ECG Preprocessing Using Wavelet Transform. *Y the 10th International Conference*. ACM Press.

DOI: <https://doi.org/10.1145/3177457.3177503>

23. Sameni, R. OSET: The open-source electrophysiological toolbox. Version 3.14. (2025). OSET.

<https://sameni.org/OSET/>

24. Totsky, A. V., Zelensky, A. A., & Kravchenko, V. F. (2014). *Bispectral Methods of Signal Processing: Applications in Radar, Telecommunications and Digital Image Restoration*. de Gruyter GmbH, Walter.

Scientific adviser: Doctor of Technical Sciences, prof. Totsky O.V.

Article sent: 19.09.2025

© Viunytskyi O.H.



A METHOD FOR PREDICTING THE SPREAD OF EPIDEMIOLOGICAL THREATS BASED ON THE TELEGRAPH EQUATION

Oksana Malanchuk

<https://orcid.org/0000-0001-7518-7824>

Doctor of Technical Science, Associate Professor of Biophysics Department
Danylo Halytsky Lviv National Medical University,
Lviv, Ukraine,

Abstract. *Mathematical modeling of epidemic dynamics plays a crucial role in understanding, predicting, and controlling the spread of infectious diseases. Traditional approaches are often based on diffusion-type equations, which assume instantaneous propagation of changes in infection density. However, such models may oversimplify real transmission processes, as the spread of infection among the population usually occurs at a finite rate and exhibits wave-like behavior. To overcome these limitations, this article presents a method for predicting epidemiological threats based on the telegraph equation.*

The telegraph equation, being a second-order hyperbolic differential equation, allows the terminal velocity of propagation and inertial effects to be included in the model. This makes it possible to reflect both diffusion and wave-like modes of epidemic propagation, depending on the balance between diffusion and transport mechanisms. The proposed model describes the spatial-temporal distribution of infection cases and provides insight into the dynamics of epidemic fronts.

Analytical methods make it possible to obtain solutions and analyze them under complex initial and boundary conditions. The results confirm that the approach based on the telegraph equation provides a more realistic description of the spread of the epidemic wave compared to classical diffusion models. Moreover, this method allows identifying critical thresholds, predicting infection peaks, and estimating the time required for the epidemic to spread in specific regions.

The proposed approach can be applied both in theoretical research and as a practical forecasting tool for healthcare systems. It provides a flexible and physically consistent mathematical framework for predicting the spread of epidemiological threats, assisting in decision-making regarding epidemic preparedness and response strategies.

Keywords: *telegraph equation, epidemic spread, epidemiological threats, mathematical modeling, wave propagation, forecasting, partial differential equations.*

Problem Statement.

The problem of predicting the spread of epidemiological threats is one of the key issues in modern mathematical biology and medical statistics. Classical diffusion models based on the heat conduction equation describe the spread of infection as an instantaneous propagation of changes in space. However, real epidemic processes are characterized by finite transmission rates and wave propagation. As a result, classical models do not take into account inertial effects and can distort the results of forecasting.

The telegraph equation, which is a second-order hyperbolic differential equation, allows the mechanisms of diffusion and wave propagation to be combined. In the context of epidemiology, it provides a more realistic description of the process, as it



takes into account both local fluctuations in infection density and the wave propagation of the epidemic front.

Thus, the task is to develop a method for predicting the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation, which allows:

- 1) adequately describe the dynamics of infections in space and time;
- 2) identify critical modes of epidemic development;
- 3) determine the speed of spread of infectious waves;
- 4) predict the timing of reaching certain regions and peak incidence values.

Solving this problem will contribute to the construction of more effective mathematical models for healthcare needs and rapid response to epidemiological threats.

Analysis of recent studies and publications. Every healthcare project, whether it involves introducing new medical technology, modernizing a hospital, implementing an electronic health system, or launching a disease prevention program, requires careful planning, coordination, and monitoring. This includes clearly defining goals, managing resources, monitoring deadlines, assessing risks, and monitoring results. The success of healthcare projects is often determined by the team's ability to achieve a balance between service quality, financial constraints, and regulatory compliance.

Modeling the spread of an epidemic is an important tool in managing healthcare projects, especially when projects are aimed at overcoming or mitigating the effects of infectious disease outbreaks. This not only allows for the prediction of the development of an epidemic, but also provides project managers with scientifically sound data for making critical decisions.

Infection spread models allow us to assess possible scenarios for the development of an epidemic under various conditions: the rate of infection spread, the number of cases, the peak of the epidemic, and possible ways to contain it. This enables project managers to plan resources, infrastructure, logistics of medical supplies, and hospital beds based on actual needs. Modeling can be used to analyze where and when resources such as medicines, vaccines, or medical personnel will be needed. This helps to allocate financial and material resources efficiently to avoid shortages or surpluses



in certain regions or healthcare facilities.

Modeling allows for the analysis of various measures, such as quarantine restrictions, vaccination, or social distancing. This helps to assess the effectiveness of these measures in different scenarios and select the optimal strategy to reduce the rate of infection spread.

Epidemics create a high level of uncertainty and risk for healthcare projects. Modeling allows you to identify key risks (such as excessive strain on medical facilities or lack of resources) and create plans for different scenarios, improving the flexibility and resilience of the project to external threats. Data obtained from modeling provides the basis for evidence-based decisions at all levels of management. This is particularly important for strategic decisions such as scaling countermeasures, prioritizing medical supplies, or preparing health systems for future waves of the epidemic.

Managing medical projects during epidemics requires flexible and informed decisions that balance effectiveness with cost minimization. Modeling becomes a key tool for ensuring predictable and controlled management in such a complex situation.

One of the fundamental approaches in epidemiology and mathematical biology for analyzing the dynamics of infectious diseases in a population is the construction of models based on differential equations [1]. Incorporating parameters such as the transmission rate, recovery time, and interactions between population groups makes it possible not only to predict future outbreaks but also to evaluate the effectiveness of preventive measures, including quarantine, vaccination, and social distancing.

Classical epidemic models, such as the SIR (Susceptible–Infected–Recovered) framework, remain among the most fundamental tools in mathematical epidemiology. The SIR model employs systems of ordinary differential equations to capture the temporal evolution of three essential population groups: individuals susceptible to infection, individuals currently infected, and those who have recovered and acquired immunity. Its formulation relies on calculating the proportion of the population within each of these categories and on defining the rates of transition between them. In particular, the model requires the estimation of two key epidemiological parameters: the infection transmission rate, which reflects the probability of disease spread during



contact between susceptible and infected individuals, and the recovery rate, which characterizes the average duration of infection before recovery. Despite its relative simplicity, the SIR model provides valuable insights into the mechanisms of epidemic spread and serves as the basis for numerous extensions and generalizations in modern epidemiological modeling. in following form

Let us consider SIR model

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I,$$

where $S(t)$ denotes the number of individuals susceptible to infection, $I(t)$ represents the number of infected individuals, and $R(t)$ corresponds to the number of recovered individuals [2, 3]. Mathematical modeling of the development of an epidemic process, taking into account the specific features of COVID-19 transmission, has been presented in [4] using a system of differential equations.

Mathematical models of disease transmission provide a powerful framework for analyzing both the temporal evolution of the number of infected individuals and their spatial distribution within a population. While classical models, such as the SIR (Susceptible–Infected–Recovered) framework, describe the dynamics of infection in terms of time-dependent changes in the size of three key compartments, they often neglect the impact of spatial heterogeneity. To address this limitation, extended models have been developed that incorporate diffusion or transport terms, thereby allowing for the representation of spatial mobility and local clustering of individuals. Such spatially explicit models are particularly relevant in the study of modern epidemics, as they capture processes such as regional transmission, population density effects, and spatially dependent interventions (e.g., localized quarantines or vaccination campaigns). These extensions significantly enhance the predictive and explanatory power of mathematical epidemiology, making it possible to model not only the overall course of an epidemic but also its spatial patterns and spread across different regions [5].

To model the process of epidemic spread more realistically, diffusion terms are incorporated into the classical SIR equations [6]. These terms account for the spatial



mobility of both susceptible and infected individuals, thereby extending the traditional time-dependent formulation of the model. The inclusion of diffusion reflects the natural movement of people across different locations, which directly influences local infection dynamics and the geographical progression of an epidemic. By doing so, the model not only tracks the evolution of population groups over time but also captures spatial interactions, such as clustering of cases or wave-like propagation of disease. This spatially extended approach thus provides a more comprehensive representation of epidemic processes and offers valuable insights for designing region-specific control measures.

$$\begin{aligned}\frac{\partial S(t,x,y)}{\partial t} &= -\beta S(t,x,y)I(t,x,y) + D_s \nabla^2 S(t,x,y), \\ \frac{\partial I(t,x,y)}{\partial t} &= \beta S(t,x,y)I(t,x,y) - \gamma I(t,x,y) + D_i \nabla^2 I(t,x,y), \\ \frac{\partial R(t,x,y)}{\partial t} &= \gamma I(t,x,y) + D_r \nabla^2 R(t,x,y),\end{aligned}$$

where β is the transmission rate, γ is the recovery rate, D_s, D_i, D_r are the diffusion coefficients for the susceptible and infected compartments, ∇^2 denotes the Laplace operator.

Reference [6] presents an epidemic model formulated in terms of a second-order differential equation with respect to time (spatial diffusion).

$$a_2 \frac{d^2 X(t)}{dt^2} + \left(1 + a_1 X(t) \frac{dX(t)}{dt} \right) + (a_0 X(t) - \varphi) v X^0(t) = 0,$$

where $X(t)$ denotes the number of infected individuals at time t , φ represents the rate of growth of the infected population, and $\{a_0, a_1, a_2\}$ are coefficients that serve as epidemic parameters (a_0 is the proportion of individuals susceptible to infection; a_1 is the asymmetry coefficient of the flow; a_2 is the level of population susceptibility to the virus).

Contemporary challenges in epidemiology, including globalization, spatial interactions, and complex socioeconomic factors, require more sophisticated



approaches that take into account both the spatial and temporal aspects of disease spread. In this regard, epidemic modeling using partial differential equations is used to describe the spatial and temporal processes of infection spread [7]. Such models, which include elements of diffusion or wave propagation, provide a more accurate reflection of the real dynamics of diseases, especially in conditions of heterogeneous population distribution and human mobility.

For models based on wave or diffusion equations with specified conditions at two points in time, using the differential-symbol method [8, 9], it is possible to write down an analytical solution that makes it possible to predict the spread of the process at any point in time at any point in the region.

Purpose of the work: the purpose of this study is to develop a mathematical model of the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation, which takes into account both the temporal dynamics of the disease and the spatial characteristics of its spread, and to develop a method for finding analytical solutions to the problem, which makes it possible to study the influence of key model parameters on the course of the epidemic. the aim of this study is to develop a mathematical model of the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation, which accounts for both the temporal dynamics of the disease and the spatial characteristics of its propagation, as well as to investigate the impact of key model parameters on the course of the epidemic.

Presentation of main material.

This article discusses approaches to modeling the spread of epidemics using second-order differential equations, in particular, wave equations and diffusion equations.

If we model the spread of an epidemic using second-order differential equations over time, it may resemble a wave equation or a diffusion equation that takes into account inertial effects. The second order in time indicates the effect of acceleration or inertia in the dynamics of the epidemic spread. This approach can be useful for modeling situations where there are delays in the system's response to changes, for example, due to the incubation period or other time delays.



The equation describing the state of the infected population looks like a modified wave equation that takes into account both spatial and temporal effects

$$\frac{\partial^2 I(t, x, y)}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 I(t, x, y) - \alpha \frac{\partial I(t, x, y)}{\partial t} - \gamma I(t, x, y), \quad (1)$$

where $\frac{\partial^2 I(t, x, y)}{\partial t^2}$ denotes acceleration of the change in infected individuals over time, $c^2 \nabla^2 I(t, x, y)$ is spatial distribution of infected individuals (c is rate of spread of infection in space), $\alpha \frac{\partial I(t, x, y)}{\partial t}$ is a term that takes into account attenuation or damping (interpreted as a resistance coefficient, for example, due to isolation), $\gamma I(t, x, y)$ is the process of recovery or exit from infection (roughly analogous to the classic SIR model). These models provide a deeper understanding of the mechanisms of transmission between different regions and population groups, as well as an assessment of the impact of external factors on the dynamics of the epidemic.

When forecasting the spread of epidemiological threats, the telegraph equation is proposed to be used to model the wave-like spread of epidemics. Unlike diffusion models (which are based on heat conduction equations and describe the gradual spread of infections), the telegraph equation has its own characteristics and allows for a number of components of the project environment to be taken into account (Fig. 1).

In particular, the spatial-temporal delay in the spread of infection. Infection does not spread instantly. That is, it takes time for the wave of spread to reach new territories or regions. The model also takes into account the presence of a wave of spread. During an epidemic, waves of infection can be observed, when after the first outbreak of the disease there is a wave of decrease in the number of patients, followed by a new outbreak. This is due to repeated contacts or other factors of the project environment. The telegraph equation describes such oscillatory processes well. In addition, the proposed method takes into account the speed of infection spread.

The telegraph equation assumes that the infection spreads in waves at a rate of c . These waves are dampened by attenuation α , which describes the natural processes of epidemic decay or implemented measures (e.g., quarantine). At the beginning of an



epidemic, the function $I(t, x, y)$ describes a sharp outbreak when the number of infected people increases rapidly in the center of the epidemic and gradually spreads to other regions.

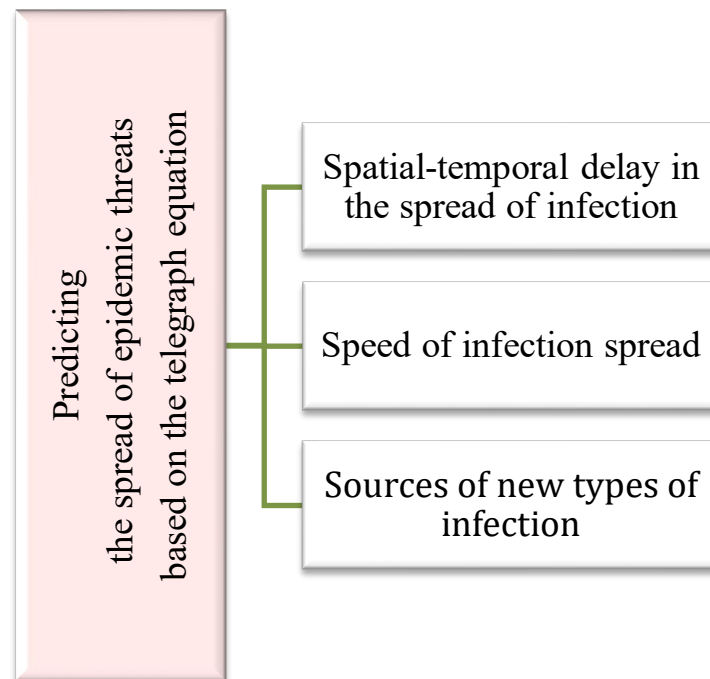


Figure 1. Taking into account the characteristics of the project environment when forecasting the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation

For example, if the epidemic started at point x_0 , the wave of infection will spread from this point at a rate of c . After a certain time, infected people will appear at points $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n), \dots$. The change in the intensity of infection of the population with infectious diseases in different regions depends on the attenuation coefficient α .

When forecasting epidemiological threats, the initial number of infected people at a given point x_0 , time $t = 0$, level of population mobility, and the impact of quarantine are specified. Quarantine or vaccination affect the parameter α , increasing or decreasing the rate at which the epidemic subsides. This makes it possible to model the spread of infection in different regions with given initial conditions, as well as to assess how the infection spreads within a hospital district. Let $I(0, x, y)$ and $I(l, x, y)$ are



functions that describe the epidemic process at two points in time, according to the differential-symbol method [10, 12], it is possible to find the solution to this problem, i.e., a function that analytically describes the process of the spread of the epidemic at any point and at any point in time. In the case when the absence of sources of new infections or external influences leading to the appearance of additional infected individuals in the region, equation (1) is homogeneous.

Let us find analytical solution of the equation (1), which satisfies two-point condition

$$I(0, x, y) = \varphi(x, y), I(l, x, y) = \phi(x, y). \quad (2)$$

According to the differential-symbol method, the solution of the two-point problem (1), (4) can be found in the following form

$$I(t, x, y) = \varphi\left(\frac{\partial}{\partial \nu}\right) \frac{\sinh[(l-t)R(\nu)]}{\sinh[lR(\nu)]} e^{\frac{1}{2}\alpha t + \nu_1 x_1 + \nu_2 x_2} \Bigg|_{\nu=0} + \phi\left(\frac{\partial}{\partial \nu}\right) \frac{\sinh[tR(\nu)]}{\sinh[lR(\nu)]} e^{\frac{1}{2}\alpha t + \nu_1 x_1 + \nu_2 x_2} \Bigg|_{\nu=0},$$

where $R(\nu) = \frac{1}{2}\sqrt{\alpha^2 + 4c^2\|\nu\| - 4\gamma}$, $\frac{\partial}{\partial \nu} = \left(\frac{\partial}{\partial \nu_1}, \frac{\partial}{\partial \nu_2}\right)$. The functions $\varphi\left(\frac{\partial}{\partial \nu}\right)$ and $\phi\left(\frac{\partial}{\partial \nu}\right)$ are obtained by replacing (x, y) with $\left(\frac{\partial}{\partial \nu_1}, \frac{\partial}{\partial \nu_2}\right)$ in the functions φ, ϕ .

Note that if the functions φ, ϕ are constants ($\varphi(x, y) = c_1, \phi(x, y) = c_2$), i.e., only the number of infected individuals at two points in time is considered, then the solution to the problem $I(t, x, y)$ depends only on t , i.e., we obtain the dependence of the change in the number of infected individuals over time

$$I(t, x, y) = \frac{e^{\frac{1}{2}\alpha t}}{\sinh\left[\frac{1}{2}l\sqrt{\alpha^2 - 4\gamma}\right]} \left(c_1 \sinh\left[\frac{1}{2}\sqrt{\alpha^2 - 4\gamma}(l-t)\right] + c_2 \sinh\left[\frac{1}{2}t\sqrt{\alpha^2 - 4\gamma}\right] \right).$$

Knowing the number of infected individuals at different spatial points of the region at two distinct time moments, the differential-symbol method can be applied to



construct solutions of the telegraph equation that describe the spatiotemporal dynamics of the epidemic spread. This approach allows not only the prediction of overall trends in the infection process but also the identification of characteristic features, such as peak incidence periods and subsequent phases of decline.

The telegraph equation allows for an accurate description of the wave-like dynamics of infection spread in a given region, taking into account time delays, the speed of infection spread, and the sources of new outbreaks. Based on the proposed method, forecasts are made for peaks in population morbidity, the spread of infection to new territories, and assessments of the overall burden on medical facilities during an epidemic.

Let us consider correlation of the telegraph equation with the classic SIR model. This makes it possible to expand the spatio-temporal approach to modeling the spread of epidemiological threats. Combining these two approaches allows us to simultaneously take into account both the dynamics of infectious disease transmission among the population of a given region and the spatial distribution of the infection.

The classical SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) model describes the dynamics of infectious disease in a population by dividing the population into three groups:

- S (susceptible) – the population of the region that can be infected;
- I (infected) – the population of the region that is infected and can transmit the infection to others;
- R (recovered) – the population of the region that has recovered or become immune, i.e., can no longer transmit the disease.

The model is described by a system of differential equations:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{SI}{N}, \quad \frac{dI}{dt} = \beta \frac{SI}{N} - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I, \quad (3)$$

where $S(t)$ is number of vulnerable individuals over time; $I(t)$ is number of infected individuals over time; $R(t)$ is number of recovered individuals; β denotes rate of infection among the region's population; γ is rate of recovery among the region's population; N is total population living in the region.



The model (3) is the basis for calculating the dynamics of infectious diseases. However, it does not take into account spatial features such as changes in different regions, human migration, or delays in the spread of infection. Combining it with the telegraph equation makes it possible to eliminate these shortcomings.

The SIR model describes the general dynamics of infection within a population well, but does not take into account the spatial aspect of the spread of infection. To simulate not only the temporal but also the spatial-temporal dynamics of infection, the telegraph equation (1) is introduced. This equation allows us to model the spread of infection in the form of waves that propagate at a certain speed c in space x and time t .

Let us consider the relationships between the models. The telegraph equation (1) for spatial propagation is refined as follows. The SIR model is extended by introducing a dependence on spatial coordinates. For this purpose, the telegraph equation is used, which describes the processes of how the infection spreads from one region to another at a rate (the rate of infection spread).

Thus, for each of the parameters $S(x,t)$, $I(x,t)$ and $R(x,t)$, it is proposed to use the telegraph equation (1) to describe the spatio-temporal dynamics.

The classical SIR framework presumes that the infection is transmitted instantaneously across the entire population. In contrast, real-world epidemic dynamics exhibit a gradual expansion, whereby the infection front advances progressively into new geographic regions. The telegraph equation (1) provides a more realistic description of this process by incorporating a finite propagation velocity c . Furthermore, empirical observations indicate that the spread of infection is characterized by a temporal delay τ , during which the epidemic wave propagates outward from the initial epicenter to surrounding areas. This inherent delay is rigorously accounted for in the telegraph equation (1) through the inclusion of the second-order time derivative.

The proposed method incorporates population mobility between regions, thereby enabling the modeling of infection spread into new territories. This feature is of particular importance for assessing epidemiological threats across large hospital



districts. Spatial differentiation enhances the accuracy of predictions, since infections propagate unevenly across regions, directly influencing the distribution of resources among hospitals and healthcare facilities. Based on this approach, it becomes possible to anticipate hospital loads in different areas and ensure their more balanced allocation.

The telegraph equation (1) provides a framework for predicting epidemic waves and periods of decline, which is critical for identifying the timing of new outbreaks and implementing timely response measures. Moreover, by introducing a source function, the model captures the emergence of new outbreaks in distinct regions or the effects of interventions (e.g., vaccination campaigns or quarantine measures), thus offering a more reliable basis for planning preventive strategies.

The integration of the classical SIR model with the telegraph equation enables the modeling of not only the temporal dynamics of infection within a population, but also its spatial propagation. Such an approach allows for the development of a more accurate and effective decision-support system for forecasting epidemiological threats and optimizing the allocation of healthcare resources across hospital districts.

An important feature of the proposed framework is the incorporation of potential intervention scenarios, such as quarantine measures and vaccination campaigns. Within our method, these scenarios are explicitly embedded in the modeling of epidemic dynamics, thereby allowing the simulation of the impact of public health interventions on the spread of infection. This provides valuable insights for designing preventive strategies and improving the preparedness of healthcare systems in the face of future outbreaks.

Vaccination introduces an additional term that modifies the number of susceptible individuals $S(t)$ available for infection, with the rate of vaccination v directly influencing the dynamics. This leads to modifications of the equations (3):

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{SI}{N} - vS, \quad \frac{dI}{dt} = \beta \frac{SI}{N} - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I + vS \quad (4)$$

where v denotes the vaccination rate, which directly decreases the number of susceptible individuals $S(t)$ and correspondingly increases the number of recovered individuals $R(t)$.



Based on the spatio-temporal modeling framework, the impact of the spread of infectious diseases on the healthcare resources of hospital districts can be evaluated. To account for the hospital load, we introduce a variable $H(t)$, representing the occupancy of hospitals over time. The maximum hospital load within a given period can be expressed through the integral of the number of infected individuals within a specific territory:

$$H(t) = \iint_{\Omega} I(x, t) dS$$

where Ω denotes the boundary of the hospital district.

The hospital load depends on the number of infected individuals within a given region. If the number of infected individuals $I(t)$ at time t exceeds the hospital capacity $H_{\max}$, this leads to a critical overload of healthcare facilities.

The proposed method for predicting the spread of epidemiological threats, which incorporates spatio-temporal dynamics, makes it possible to forecast the following indicators (Fig. 2):

1. the peak period of morbidity, corresponding to the maximum number of infected individuals $I_{\max}$, which is determined as the maximum of $I(x, t)$ over all values of t ;

2. the duration of the epidemic, defined as the time interval after which the number of infected individuals becomes less than one;

3. the hospital load, determined from the predicted hospital occupancy $H(t)$ and its correspondence to the maximum available bed capacity $H_{\max}$.

4. The proposed epidemiological model, which combines the classical SIR framework with spatial dynamics, leads naturally to the telegraph equation as a governing relation for the spatio-temporal spread of infection. Unlike the diffusion equation, the telegraph equation accounts for both finite propagation speed and time delay in the transmission of the infection, reflecting more realistic epidemic dynamics. Its solutions, expressed through damped traveling waves, describe the spread of infection from an epicenter to new regions, the attenuation of epidemic waves, and the emergence of new outbreaks under the influence of source terms. These solutions,



adapted to the initial and boundary conditions of the model, form the mathematical basis for forecasting epidemic waves and evaluating hospital load in different regions.

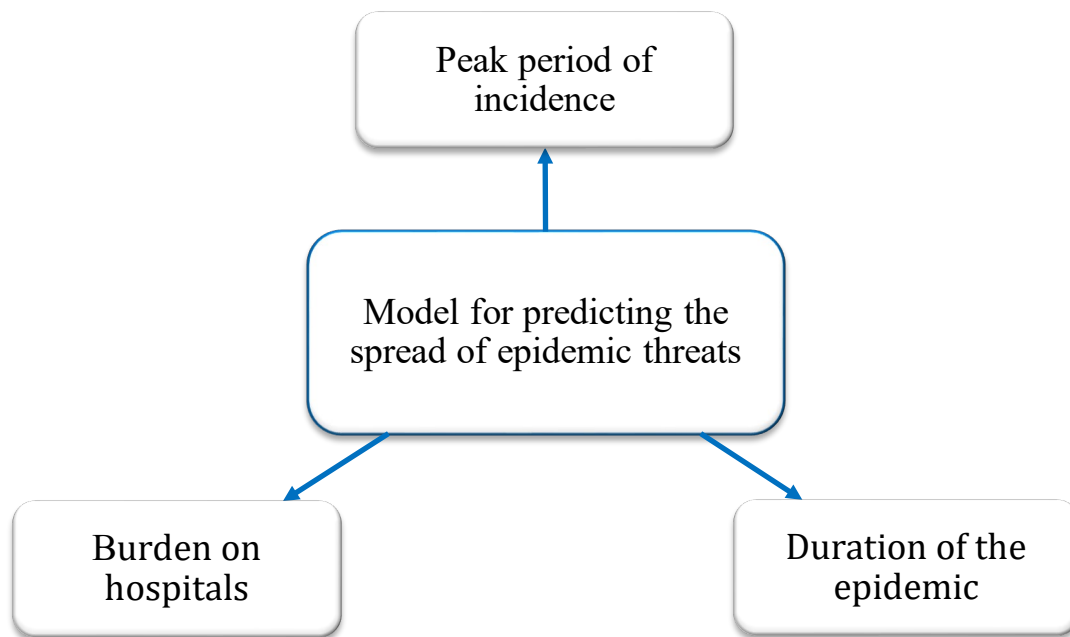


Fig. 2. Diagram of indicators that can be quantitatively assessed based on the proposed method for forecasting the spread of epidemiological threats

The proposed method for predicting the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation makes it possible to account for both the temporal and spatial dynamics of infection transmission. This is of particular importance for assessing hospital load and supporting appropriate management decisions by healthcare project managers.

Conclusion.

In this study, a method for predicting the spread of epidemiological threats based on the telegraph equation has been proposed. The approach integrates classical SIR-type epidemiological models with spatial-temporal dynamics, allowing for a more accurate assessment of infection propagation across regions. By incorporating diffusion and delay effects, the method captures both the temporal evolution and spatial distribution of infected and susceptible populations. This enables the prediction of key indicators such as peak incidence periods, epidemic duration, and hospital load. The differential-symbol method provides a systematic way to construct solutions to the



telegraph equation using data from two distinct time points, facilitating the identification of epidemic peaks, attenuation phases, and potential new outbreaks. Overall, the proposed framework supports effective decision-making for resource allocation and preventive measures in hospital districts, improving preparedness and response to epidemiological threats.

References:

1. Ziyadi, N., Boulite, S., Hbid, L., & Touzeau S. (2008). Mathematical analysis of a PDE epidemiological model applied to scrapie transmission. *Communications on Pure and Applied Analysis*, 7 (3), 659-675.
2. Keeling, M. J., & Danon, L. (2009). Mathematical modelling of infectious diseases. *British Medical Bulletin*, 92, 33–42.
3. Brauer, F., Castillo-Chavez, C., & Feng Z. (2019). Mathematical Models in Epidemiology. *Texts in Applied Mathematics*, 69. Springer.
4. Oliynuk A.P., Feshanych L.I., & Oliynyk Ye.A. (2020). Matematychni modeliuvannia protsesu rozvytku epidemiolohichnoi sytuatsii z urakhuvanniam osoblyvostei poshyrenia Covid-19. *Metody ta prylady kontroliu*, 1 (44), 138-146.
5. Majid, F., Deshpande, A., Ramakrishnan, S., Ehrlich, S., & Kumar M. (2021). Analysis of epidemic spread dynamics using a PDE model and COVID-19 data from Hamilton County OH USA. *IFAC Paper Online 54-20*, 322-327.
6. Molodetska, K., & Tymonina Yu. (2020). Mathematical Modeling Covid-19 Wave Structure of Distribution. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine, IDDM*, 2753, 21.
7. Zhuang, Q., & Wang, J. (2021). A spatial epidemic model with a moving boundary. *Infect Disease Model.* 1, 1046–1060.
8. Nytrebych, Z. M., Malanchuk, O. M., Wójcik, W., & Shedreyeva I. (2018). On the modeling of wave processes in unbounded domains by problem with two-point conditions in time. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10808, Wilga, Poland. <https://doi.org/10.1117/12.2501571>
9. Nytrebych, Z., Ilkiv, V., Pukach, P., Malanchuk, O., Kohut, I., & Senyk, A.



(2019). Analytical method to study a mathematical model of wave processes under two-point time conditions. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*, 1, 7 (97), 74-83.

10. Nytrebych, Z., Malanchuk, O., Il'kiv, V. & Pukach, P. (2017). On the solvability of two-point in time problem for PDE. *Italian journal of Pure and Applied Mathematics*, 38, 715-726.

11. Nytrebych, Z. M., Politanskyi, R. L., Malanchuk, O. M., Petryshyn, R. I., & Vistak, M. V. (2021). Simulation of Electromagnetic Oscillations in an Active Telegraph Line. *Conference Proceedings, 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of the CAD Systems*, 3.1-3.5.

12. Nytrebych, Z., Il'kiv, V., Pukach P., & Malanchuk, O. (2018). On nontrivial solutions of homogeneous Dirichlet problem for partial differential equation in a layer. *Kragujevac Journal of Mathematics*, 42 (2), 193–207.



УДК 616.31-008.87-044.95:616.322-002.289

STATUS OF THE ASSOCIATED MICROBIOTA OF THE ORAL CAVITY IN PATIENTS WITH CHRONIC LACUNAR ANGINA

СТАН АСОЦІАТИВНОЇ МІКРОБІОТИ ПОРОЖНИНИ РОТА У ХВОРИХ З ХРОНІЧНОЮ ЛАКУНАРНОЮ АНГІНОЮ

Mikheev A.A. / Міхєєв А.О.*PhD, associate professor / к.б.н., доцент*

ORCID: 0000-0003-2163-8866

Sydorchuk L.I. / Сидорчук Л.І.*PhD, associate professor / к.мед.н., доцент*

ORCID: 0000-0003-1275-1867

Blinder O.O. / Бліндер О.О.*PhD, associate professor / к.мед.н., доцент*

ORCID: 0000-0002-5855-5549

Sydorchuk I.Y. / Сидорчук І.Й.*MD, professor / д.мед.н., професор*

ORCID: 0000-0002-9494-1041

*Bukovinian State Medical University,**2, Theatralna sq., Chernivtsi-city, 58002**Буковинський державний медичний університет,**Театральна площа, 2, м. Чернівці, 58002*

Анотація. У статті розглянуто стан мікробіому ротоглотки у людей раннього працездатного віку (15-35 р.) за умов розвитку хронічної лакунарної ангіни. Показано, що її розвиток призводить до дестабілізації таксономічного складу мікробіому – настає елімінація із біотопу автохтонних бактерій та контамінація ротоглотки умовно-патогенними бактеріями та дріжджоподібними грибами роду *Candida*. Головна мікробіота переважно представлена *S. aureus* та *S. pyogenes*. У відповідності до рівня визначених індексів видового багатства та видового різноманіття у ротоглотці хворих на хронічну лакунарну ангіну створюються оптимальні просторо-харчові ресурси та умови існування для умовно-патогенних мікроорганізмів. Це сприяє формуванню популяційного рівня кожного таксону мікробіому ротоглотки хворих на хронічну лакунарну ангіну. Переважання у ротоглотці хворих на хронічну лакунарну ангіну умовно-патогенної мікробіоти над автохтонною непатогенною мікробіотою при цьому складає практично 1,5 рази.

Ключові слова: порожнина рота, мікробіом, хронічна лакунарна ангіна.

Вступ.

Лакунарна ангіна – це гостре інфекційне захворювання, при якому запалюються лакуни (заглиблення) мигдаликів, що й призводить до утворення в них гнійного нальоту. Часто виникає хронічний процес – хронічна лакунарна ангіна (ХЛА), коли гостра ангіна не була повністю вилікувана і в мигдаликах залишилися джерела інфекції. Ці інфекційні осередки стають причиною частих загострень тонзиліту, що характеризується наявністю гнійних нальотів (гнійників) в лакунах (западинах) мигдаликів, а також збільшенням та набряком



мигдаликів [1]. Найчастіше це ускладнення гострої лакунарної ангіни, що повторюється кілька разів на рік та супроводжується загальною слабкістю, підвищеною стомлюваністю та імунною слабкістю. Небезпеку для пацієнтів при ХЛА становлять ускладнення орофарингеальних інфекцій, стрептококових чи нестрептококових, що супроводжуватися поширенням інфекції в парафарингеальний простір та спричиняти обструкцією дихальних шляхів [2]. Було показано, що мікробіота людини функціонально пов'язана з інфекційними та запальними захворюваннями, проте лише невелика кількість досліджень стосувалася мікробіоти мигдаликів, хоча вони відіграють важливу роль в системі імунного захисту людини та зустрічаються з численними мікроорганізмами ще на початку дихальних шляхів [3].

Мета. Дослідження таксономічного складу мікробіоти рота, якісних мікроекологічних показників та популяційного рівня кожного таксону з визначенням взаємовідносин мікробіоти з організмом хворих та функціонування екосистеми «макроорганізм-мікробіом» за хронічної лакунарної ангіни.

Матеріали та методи дослідження.

Клініко-мікробіологічне дослідження проведено у 148 людей раннього працездатного віку (15-35 років), у 111 виявлена хронічна лакунарна ангіна. Серед хворих 52 (47%) були чоловічої статі, а 59 (53%) – жіночої. діагноз «хронічна лакунарна ангіна» був попередньо сформований та підтверджений клінічно. Мікробіологічне обстеження ротової рідини хворих і практично здорових добровольців здійснювали за методами, описаними раніше [4]. Статистичне опрацювання одержаних цифрових результатів проводили на персональному комп'ютері за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel і програми Statistica for Windows з урахуванням середньої арифметичної (M), похибки середньої величини ($\pm m$), t -критерія Стюдента. Статистично достовірною різницею вважали за значення $p < 0,05$.

Отримані результати та їх обговорення. Одним із захворювань, яке не оминуло жодної людини, є ангіна – гостре інфекційне захворювання з інгаляційним механізмом передачі збудника, що характеризується інфекційно-



запальним процесом лімфоїдної тканини, асоційованої із слизовою оболонкою ротоглотки (піднебінних мигдаликів). Ангіна, як самостійна хвороба, не втратила актуальності і теперішній час, що зумовлено широким розповсюдженням цієї патології переважно серед осіб раннього працездатного віку, широким спектром збудників, легким способом передачі, можливістю ендогенного інфікування опортуністичною мікробіотою та з частим розвитком ускладнень. Мікробіом ротоглотки сформований представниками багаточисельних таксонів аеробних, факультативно-анаеробних, аеротолерантних та облігатно-анаеробних мікроорганізмів (табл. 1).

У практично здорових людей раннього працездатного віку головна мікробіота ротоглотки представлена автохтонними представниками *S. salivarius* і бактеріями роду *Lactobacillus*, додаткова – *S. sanguis*, *S. lactis*, *N. lactamica*, а у хворих на хронічну лакунарну ангину (ХЛА) – *S. aureus* та *S. pyogenes*. Серед ізольованих таксонів додаткової мікробіоти не виявлено. Тільки ці показники засвідчують про дестабілізацію мікробіому ротоглотки за ХЛА. Перебіг ХЛА створює різні умови, які для одних будуть максимально оптимальними, а для інших вкрай негативними. Формування хронічної лакунарної ангіни призводить до змін просторово-харчових ресурсів та формує сприятливі умови для персистенції певного таксону патогенних чи умовно-патогенних мікроорганізмів.

Як свідчать отримані нами результати за перебігу ХЛА знижуються просторово-харчові ресурси та умови існування для бактерії роду *Lactobacillus* у 9 разів, для *S. salivarius* – у 5 разів. Водночас, вони значно покращуються та створюються умови для персистенції у *S. aureus* – у 18 разів, для *C. albicans* – у 6 разів, для *S. anginosus* – у 3 рази, *M. catarrhalis* – у 2 рази. У цілому умови для автохтонної мікробіоти значно (у рази та відсотки) погіршуються, а для опортуністичних таксонів такі умови покращуються, тому вони збільшують свою чисельність та персистенцію.



Таблиця 1 - Таксономічний склад та якісні мікроекологічні показники екосистеми «макроорганізм-мікробіом» мікробіоти рота у хворих на хронічну лакунарну ангіну

Таксони мікробіому	Хворі на хронічну лакунарну ангіну (n=163)							Практично здорові люди (n=107)						
	Виділено штамів	Індекс постійності (%)	Частота зустрічання	Індекси видового:				Виділено штамів	Індекс постійності (%)	Частота зустрічання	Індекси видового:			
				Багатства Маргалефа	Різноманітності Уїттекера	Багатства					Багатства Маргалефа	Різноманітності Уїттекера	Багатства	
						Сімпсона	Бергера-Паркера						Сімпсона	Бергера-Паркера
1. Аеробні та факультативно-анаеробні мікроорганізми														
<i>S. salivarius</i>	24	21,62	0,07	0,06	4,36	0,004	0,066	97	90,65	0,20	0,20	20,29	0,044	1,200
<i>S. sanguis</i>	9	8,11	0,02	0,02	1,64	0,001	0,025	37	34,58	0,08	0,07	7,74	0,006	0,076
<i>S. anginosus</i>	17	15,32	0,05	0,04	3,09	0,002	0,047	5	4,67	0,01	0,01	1,05	0,0001	0,010
<i>S. pyogenes</i>	58	52,25	0,16	0,16	10,55	0,025	0,160	0	-	-	-	-	-	-
<i>S. lactis</i>	7	6,31	0,02	0,02	1,27	0,0003	0,019	48	44,86	0,10	0,10	10,04	0,010	0,099
<i>S. aureus</i>	83	74,78	0,23	0,23	15,09	0,052	0,229	4	3,74	0,01	0,01	0,84	0,0001	0,008
<i>S. epidermidis</i>	8	7,21	0,02	0,02	1,45	0,0004	0,022	20	18,61	0,04	0,04	4,18	0,004	0,041
<i>N. lactamica</i>	3	2,70	0,01	0,006	0,55	-	0,008	27	25,36	0,06	0,05	5,65	0,003	0,056
<i>M. catarrhalis</i>	16	14,41	0,04	0,04	2,91	0,002	0,044	6	5,61	0,01	0,01	1,26	0,001	0,012



<i>H. influenzae</i>	7	6,31	0,02	0,02	1,27	0,0003	0,019	1	0,93	0,002	-	0,21	-	0,002
<i>C. diptheroids</i>	4	3,60	0,01	0,01	0,73	0,0001	0,011	17	15,39	0,01	0,03	3,56	0,001	0,035
<i>S. marcescens</i>	1	0,90	0,90	-	0,18	-	0,003	0	-	0,03	-	-	-	-
<i>C. albicans</i>	20	18,02	18,02	0,05	3,64	0,003	0,006	3	2,80	-	0,004	0,63	-	0,006
2. Облігатно-анаеробні бактерії														
<i>Lactobacillus spp.</i>	13	11,71	0,04	0,03	2,36	0,001	0,055	84	76,50	0,17	0,17	17,57	0,030	0,173
<i>Bifidobacterium spp.</i>	0	-	-	-	-	-	-	14	13,08	0,03	0,03	2,93	0,001	0,029
<i>Propionibacterium spp.</i>	4	3,60	0,01	0,01	0,73	0,0001	0,011	22	20,56	0,05	0,04	4,60	0,002	0,045
<i>B. fragilis</i>	5	4,50	0,01	0,01	0,91	0,0001	0,014	16	14,95	0,03	0,03	3,35	0,001	0,033
<i>P. niger</i>	2	1,80	0,006	0,002	0,36	-	0,006	0	-	-	-	-	-	-
<i>P. magnus</i>	8	7,21	0,02	0,02	1,45	0,0004	0,022	3	2,80	0,01	0,01	0,63	-	0,006
<i>P. loescheii</i>	11	9,91	0,03	0,03	2,00	0,001	0,030	2	1,87	0,004	0,003	0,42	-	0,004
<i>P. melaninogenica</i>	3	2,70	0,01	0,006	0,55	-	0,008	5	4,67	0,01	0,01	1,05	-	0,010
<i>P. gingivalis</i>	5	4,50	0,01	0,01	0,91	0,0002	0,014	6	5,61	0,01	0,01	1,26	0,0001	0,012
<i>Fusobacterium spp.</i>	6	5,41	0,02	0,01	1,09	0,0002	0,014	2	1,87	0,004	0,003	0,42	-	0,004



В результаті змін умов персистенції корисні бактерії елімінуються із біотопу – *S. salivarius* (69%), *S. sangius* (26%), *N. lactamica* (23%), *C. diphteroides* (12%), бактерії роду *Lactobacillus* (68%), *Propionibacterium* (17%) та інші. На фоні різкого зниження кількості автохтонних мікроорганізмів зростає контамінація ротоглотки умовно-патогенними *S. pyogenes*, *P. niger* та іншими опортуністичними представниками мікробіоти, що призводить до суттєвих змін її таксономічного складу і мікроекологічних показників екосистеми «організм хворого-мікробіом» мікробіоти ротоглотки.

За ХЛА елімінуються із біотопу фізіологічно корисні бактерії роду *Lactobacillus* у 64% хворих, *S. salivarius* (у 78%), *S. sangius* (у 26%), *S. lactis* (у 38%), *N. lactamica* (у 23%), *C. diphteroides* (у 12%), бактерій роду *Propionibacterium* (у 17%) та інші бактерії. На цьому фоні наростає контамінація та колонізація ротоглотки опортуністичними мікроорганізмами – *S. aureus*, *S. pyogenes*, *S. anginosus*, *M. catarrhalis*, *H. influenzae*, *P. niger*, *P. magnus* та дріжджоподібними грибами роду *Candida*.

Отже, за умов хронічної лакуарної ангіни настає виражена контамінація ротоглотки умовно-патогенними *S. pyogenes* та *S. aureus*, які посідають місце головної мікробіоти і формують інфекційно-запальний процес ротоглотки, залучаючи до цього процесу інші умовно-патогенні мікроорганізми, що також колонізують даний біотоп. Захисна роль Лактобактерій, *S. salivarius*, *N. lactamica*, Біфідобактерій і Пропіоновокислих бактерій різко знижується, що сприяє розвитку основного захворювання – лакуарної ангіни.

Стан мікробіому будь-якого біотопу організму людини, в тому числі порожнини рота, характеризується не лише таксономічним складом, а й більш важливим показником – популяційним рівнем кожного таксону. Умовно-патогенні мікроорганізми мають потенційну можливість спричинити хронічний інфекційно-запальний процес за формування у біотопі популяційного рівня більше 5,00 lg КУО/мл (табл. 2).



Таблиця 2 - Популяційний рівень та кількісні мікроекологічні показники екосистеми «макроорганізм-мікробіом» мікробіоти рота у хворих на хронічну лакуарну ангіну

Таксони мікробіоти	Хворі на хронічну лакуарну ангіну (n=163)				Практично здорові люди (n=107)			
	Популяційний рівень в lgKУО/мл (M±m)	коефіцієнт		Рівень участі у саморегуляції у системі Quorum sensing	Популяційний рівень в lgKУО/мл (M±m)	коефіцієнт		Рівень участі у саморегуляції у системі Quorum sensing
		Кількісного домінування	значущості			Кількісного домінування	значущості	
1. Аеробні та факультативно-анаеробні мікроорганізми								
<i>S. salivarius</i>	4,21±0,17	16,55	0,05	3,48	8,64±0,38	163,85	0,36	509,64
<i>S. sanguis</i>	4,04±0,11	5,96	0,01	0,24	5,07±0,21	43,19	0,10	25,78
<i>S. anginosus</i>	7,73±0,26	21,53	0,07	11,65	3,40±0,19	3,32	0,01	0,11
<i>S. pyogenes</i>	8,97±0,25	85,21	0,26	198,73	0	-	-	-
<i>S. lactis</i>	3,79±0,27	4,35	0,01	0,16	5,78±0,27	54,24	0,12	37,62
<i>S. aureus</i>	7,07±0,31	96,13	0,37	251,47	3,70±0,18	2,89	0,01	0,11
<i>S. epidermidis</i>	5,64±0,18	7,39	0,02	0,83	4,86±0,19	5,35	0,04	0,65
<i>N. lactamica</i>	4,29±0,17	2,11	0,01	0,09	5,68±0,24	30,13	0,07	11,08
<i>M. catarrhalis</i>	7,03±0,23	18,42	0,05	6,47	3,29±0,09	3,86	0,01	0,13
<i>H. influenzae</i>	7,21±0,26	8,27	0,03	1,79	3,00	0,58	0,001	0,002
<i>C. diphteroids</i>	4,87±0,18	3,19	0,01	0,16	4,17±0,18	15,86	0,04	3,03
<i>S. marcensens</i>	3,00	0,49	0,001	0,001	0	-	-	-



<i>C. albicans</i>	5,17± 0,29	16,94	0,06	5,25	3,30± 0,09	0,01	0,01	0,06
2. Облігатні анаеробні бактерії								
<i>Lactobacillus spp.</i>	6,11± 0,31	13,01	0,04	3,18	7,68± 0,32	0,27	0,27	269,54
<i>Bifidobacterium spp.</i>	0	-	-	-	7,03± 0,29	0,04	0,04	5,41
<i>Propionibacterium spp.</i>	3,34± 0,09	2,19	0,01	0,07	3,46± 0,16	0,04	0,04	2,06
<i>B. fragilis</i>	7,19± 0,23	5,88	0,01	0,42	4,35± 0,22	0,03	0,03	1,78
<i>P. niger</i>	4,47± 0,07	1,46	0,01	0,07	0	-	-	-
<i>P. magnus</i>	6,73± 0,23	8,82	0,0	1,19	4,94± 0,17	0,01	0,01	0,14
<i>P. loescheii</i>	5,02± 0,17	9,05	0,03	1,39	3,97± 0,18	0,03	0,03	0,18
<i>P. melaninogenica</i>	5,47± 0,08	2,69	0,01	0,15	3,56± 0,14	0,01	0,01	0,12
<i>P. gingivalis</i>	6,41± 0,14	5,24	0,01	0,34	4,58± 0,26	0,01	0,01	0,25
<i>Fusobacterium spp.</i>	4,51± 0,18	4,44	0,02	0,40	4,64± 0,18	0,04	0,04	0,03

Середній популяційний рівень середньостатистичного таксона складає 5,50±0,29 lg КУО/мл. Вище середнього популяційний рівень виявлено у патогенних та умовно-патогенних *S. pyogenes* (на 63%), *S. anginosus* (на 41%), *S. aureus* (на 29%), *S. epidermidis* (на 2,5%), *M. catarrhalis* (на 28%), *H. influenzae* (на 31%), *P. magnus* (на 22%), *P. gingivalis* (на 17%). Водночас у більшості таксонів, що представляють автохтонну мікробіоту ротоглотки, популяційний рівень нижче середньостатистичного: *S. salivarius* (на 31%), *S. sangius* (на 36%), *S. mitis* (на 11%), *N. lactamica* (на 28%), *Propionibacterium* (на 65%).

За хронічної лакуарної ангіни знижується популяційний рівень в автохтонних мікроорганізмів – *S. salivarius* у 2 рази, у *S. anginosus* на 26%, у *S. mitis* – на 15%, *S. lactis* – на 53%, *N. lactamica* – на 32%, бактерій роду *Lactobacillus* – на 26%, *Propionibacterium* – на 49%. На такому фоні підвищується популяційний рівень опортуністичних умовно-патогенних бактерій: *S. anginosus*



– у 2 рази, *S. aureus* – на 91%, *S. epidermidis* – на 16%, *M. catarrhalis* – у 2 рази, *H. influenzae* – у 2 рази, *B. fragilis* – на 65%, *P. magnus* – на 36%, *P. loeschei* – на 27%, *P. melaninogenica* – на 54%, *P. gingivalis* – на 40% та у дріжджоподібних грибів роду *Candida* – на 57%. За популяційним рівнем у практично здорових людей кількість аеробних мікроорганізмів переважала кількість анаеробних та аеротолерантних у 2 рази. У хворих на ХЛА спостерігається перевищення анаеробних та аеротолерантних у 68 разів, що є потужною ознакою глибокого порушення кількісного стану мікробіому ротоглотки хворих.

Кількісне домінування та значущість мікроорганізмів у асоційованому мікробіомі встановлено у представників головної мікробіоти *S. aureus* та *S. pyogenes*, які є переважними збудниками інфекційно-запального процесу – хронічної лакунарної ангіни. Ці мікроорганізми беруть участь у формуванні мікробіому ротоглотки, здійснюють процес саморегуляції мікробіому ротоглотки у хворих на ХЛА. Роль інших таксонів значно нижча або мінімальна.

Висновки:

1. Хронічна лакунарна ангіна у людей раннього працездатного віку (15-35 р.) призводить до дестабілізації таксономічного складу мікробіому ротоглотки – настає елімінація із біотопу автохтонних бактерій (*S. salivarius*, *S. sangnis*, *S. mitis*, *S. lactis*, *S. cremosis*, *N. lactamica*, *C. diphtheroids*, бактерій родів *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*) та контамінація ротоглотки умовно-патогенними (*S. pyogenes*, *S. anginosus*, *S. aureus*, *M. catarrhalis*, *H. influenzae*, *P. aeruginosa*, *P. niger*, *P. magnus*, *P. loeschei*, *Fusobacterium*) бактеріями та дріжджоподібними грибами роду *Candida*. Головна мікробіота представлена *S. aureus* та *S. pyogenes*.

2. За рівнем індексів видового багатства Маргалефа та видового різноманіття Уіттекера, які характеризують просторово-харчові ресурси та умови існування для кожного таксону, у ротоглотці хворих на хронічну лакунарну ангіну створюються оптимальні просторово-харчові ресурси та умови існування для умовно-патогенних *S. pyogenes*, *S. aureus*, *S. pneumoniae*, *S. anginosus*, *H. influenzae*, *B. fragilis*, *P. magnus*, *P. niger*, *P. loeschei*, *Fusobacterium*,



C. albicans, які у 8 разів кращі, ніж у практично здорових осіб, а для автохтонної мікробіоти такі умови погіршуються у 14 разів. Це сприяє формуванню популяційного рівня кожного таксону мікробіому ротоглотки хворих на хронічну лакунарну ангіну.

3. Відповідно змінам індексу видового багатства Маргалефа та індексу видового різноманіття Уіттекера встановлено, що хронічної лакунарної ангіни у ротоглотці людей раннього працездатного віку знижується популяційний рівень представників автохтонної мікробіоти на 64%, а популяційний рівень умовно-патогенної підвищується на 96%. Переважання у ротоглотці хворих на хронічну лакунарну ангіну умовно-патогенної мікробіоти над автохтонною непатогенною мікробіотою при цьому у 1,5 рази.

Література.

1. Kostić, M., Ivanov, M., Babić, S. S., Tepavčević, Z., Radanović, O., Soković, M., & Ćirić, A. (2022). Analysis of tonsil tissues from patients diagnosed with chronic tonsillitis—microbiological profile, biofilm-forming capacity and histology. *Antibiotics*, 11(12), 1747.
2. Wu, S., Hammarstedt-Nordenvall, L., Jangard, M., Cheng, L., Radu, S. A., Angelidou, P., ... & Ternhag, A. (2021). Tonsillar microbiota: a cross-sectional study of patients with chronic tonsillitis or tonsillar hypertrophy. *Msystems*, 6(2), 10-1128.
3. Ravshanbek o'g'li, R. R. (2022). Infectious Diseases Of The Mouth Of The Mouth. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 10(4), 374-376.
4. Сидорчук, Л. І., Міхєєв, А. О., Бліндер, О. О., & Сидорчук, І. Й. (2022). Мікробіом рота у людей раннього працездатного віку (15-24 роки), хворих на хронічний катаральний гінгівіт на фоні вперше виявленого цукрового діабету І типу. *Вісник стоматології*, 121(4), 99-105.

Abstract. *The article examines the state of the oropharyngeal microbiome in people of early working age (15-35 years) under the conditions of chronic lacunar angina. It is shown that its development leads to destabilization of the taxonomic composition of the microbiome - the elimination of autochthonous bacteria from the biotope and contamination of the oropharynx with opportunistic bacteria and yeast-like fungi of the genus Candida occurs. The main microbiota its*



*mainly represented by *S. aureus* and *S. pyogenes*. In accordance with the level of the determined indices of species, richness and species diversity in the oropharynx of patients with chronic lacunar angina, optimal spatial and nutritional resources and conditions of existence for opportunistic microorganisms are created. This contributes to the formation of the population level of each taxon of the oropharynx microbiome of patients with chronic lacunar angina. The prevalence of opportunistic microbiota over autochthonous non-pathogenic microbiota in the oropharynx of patients with chronic lacunar angina is almost 1.5 times.*

Key words: oral cavity, microbiome, chronic lacunar angina.

Статтю надіслано: 26.09.2025 р.

© Міхєєв А.О., Сидорчук Л.І., Бліндер О.О., Сидорчук І.Й..



UDC 502.7.57 (075.8)+528.5

INFLUENCE OF THE MINING INDUSTRY ON GULLY-RAVINE SYSTEM TRANSFORMATION: USING THE EXAMPLE OF KRYVYI RIH IRON-ORE BASIN, UKRAINE.

Alokhina T.M. / Альохіна Т.М.

c.b.s., Senior Researcher / к.б.н., с.н.с.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8501-7212>

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, University Ave. 54, 50086

Криворізький державний педагогічний університет,

Кривий Ріг, пр. Університетський, 54, 50086

Abstract. The presented article observes the influence of the mining industry in the Kryvyi Rih Iron-Ore Basin on the transformation of gully-ravine systems. The author demonstrates how long-term exploitation of mineral deposits has led to significant landscape changes, converting natural ecosystems into technogenic ones. The main focus is on the hydrological network, specifically the gullies in the Inhulets and Saksahan river basins, which have been substantially altered or completely destroyed by the placement of industrial waste, such as tailings storage facilities, spoil heaps, and sludge collectors. A study of the water's chemical composition in these gully ponds reveals a significant increase in mineralization and hardness, along with elevated concentrations of sulfates, chlorides, and heavy metals. The long-term data collected show a steady trend of rising water mineralization, indicating a worsening condition of the entire regional hydro-ecosystem. The results of this research highlight the need for measures to reduce the technogenic load and restore the natural ecosystems.

Key words: Gully-ravine system transformation, mining industry, Kryvyi Rih iron-ore basin, PJSC Northern GOK, PJSC Central GOK.

Introduction.

Long-term, extensive exploitation of ore deposits fundamentally alters the environment, initiating a profound shift from natural to technogenically dominated ecosystems. This transformation is not confined to a single environmental component; instead, it concurrently or progressively affects the entire system, encompassing the biota, hydrosphere, atmosphere, and lithosphere. Consequently, a distinct technogenic ecosystem emerges, characterized by novel organizational structures that diverge significantly from the pre-existing natural spatial-biotic continuum.

According to current estimates, the areas broken by mining in the whole world make up about 0,075% of the land area (about 101,583 km²) [1]. According to the State GeoCadastre data, the total amount of disturbed land area in Ukraine is estimated at 142,7 thousand hectares, among which Dnipropetrovsk region is the leader – 37,7 thousand hectares [2]. The land allotment for mining since the beginning of the 3-rd



millennium in Ukraine has reached 16 km²/year. It has been determined that the contribution of the Kryvyi Rih iron-ore basin to waste generation is 92,08% of the total volume of waste accumulations in Dnipropetrovsk region and 65,5% in Ukraine as a whole, amounting to 10,7 billion tons. It is determined that 65,25% of the total disturbed land area is industrial waste, 34,76% – quarry cavities and mine failure zones, occupying 49% of the Kryvyi Rih city area [3,4].

The Kryvyi Rih iron-ore basin stands out as a critical area, holding nearly half (48,6%) of Ukraine's primary iron ore reserves. This region is characterized by a high concentration of mining and processing facilities, including numerous quarries, mining-processing plants, mines, and metallurgical plant. Mining generates substantial volumes of waste, such as overburden and mine rock dumps, tailings dams, and metallurgical slag dumps, which collectively occupy and disturb a significant portion of the land surface. The scale of land disturbance varies significantly with the mining method. For open-pit iron ore mining, extracting just one million tons of raw material can lead to a land loss ranging from 14 to 640 hectares. In contrast, underground mining methods, while less impactful on the immediate surface, still result in a loss of approximately 4 hectares of land per million tons due to the need for dumps and surface deformations [4,5].

Specific for Ukraine and in particular for Kryvyi Rih iron-ore basin is the significant waste dominance generated during the development of mineral deposits (75% of the total volume) and ore enrichment (13-14%) [4,5]. The modern technology of iron ore enrichment involves the production waste ("tails") storage in special tailings storage facilities, into which they come in the form of water pulp. Today, about 2,7 – 3,0 billion cubic meters of ore enrichment wastes are accumulated in the tailings storage facilities of the Dnipropetrovsk region, of which more than 2 billion cubic meters are in Kryvyi Rih. Where process solutions are not undergone to industrial treating, they are actively ended up into hydroecosystem.

The principal **aim of the research** is to identify and characterize the patterns of transformation within the gully-ravine system of the Kryvyi Rih region, specifically focusing on the morphogenetic impact of mining and quarrying operations.



Materials and methods.

The study is based on the results of water samples analyses from the gullies taken in expeditions during 2008-2023, analysis of retrospective data and literature data.

Results.

The Inhulets River with tributary the Saksahan, along with an extensive system of large ravines and watercourses, primarily define the Kryvyi Rih hydrological network. These features reflect both the region's historical development and ongoing physical and geographical processes. However, within the Inhulets River basin, particularly in areas hosting mining and processing plants, the landscape undergoes fundamental transformations. This leads to the emergence of specific geochemical processes that significantly alter the chemical composition of water in both natural and technogenic water bodies.

In steppe regions of Ukraine, the gullies – the result of soil erosion by running water, are a common form of relief and the basis for the formation of the hydrological network. The geomorphology of the Kryvyi Rih area is characterized by pervasive gully incision. A considerable proportion of these incised features have been anthropogenically modified to accommodate various industrial by-products and effluents, specifically functioning as sludge and tailings storage facilities, settling ponds, waste rock dumps, and technogenic water impoundments.

The primary process shaping the relief in the region is sheet erosion, with gully erosion playing a lesser role. The watersheds of the Kryvyi Rih rivers are associated with granitoid domes and anticlinal ridges of the folded basement. Upstream from the confluence of the Inhulets and Saksahan Rivers, the watersheds are narrow and well-drained. The Inhulets-Saksahan watershed itself is narrow and relatively poorly drained. In the central part of Kryvyi Rih, the ravines are flat, with their bottoms being marshy and dominated by accumulation processes. There are also trapezoidal ravines that are gently convex, featuring grassed slopes with gradients of 6-12°. Their lower sections contain incised terraces, and their heads are conical. Small watercourses emerge in the middle sections of these ravines. The largest ravines extend for 10-15 km.



Within the Kryvyi Rih territory, there are 36 gullies and their branches draining into the Inhulets basin, and 33 gullies (with some sources indicating 40 [6]) in the Saksahan basin. These formations can exhibit significant incision, with edge depths sometimes reaching 20-30 meters.

The Saksahan basin's gully system is predominantly right-bank (67,5%), with a smaller proportion (32,5%) on the left bank. A notable aspect is the severe transformation, often leading to complete destruction, of most gullies. This impact is particularly pronounced on the right-bank gullies, which have been subjected to over a century of mining operations and extensive construction.

Streams frequently flow along the bottom of the gullies, primarily formed by the outflow of groundwater along the ravine slopes, as well as by the drainage and discharge (sometimes emergency) of process waters. Where gully elevations are low, these streams expand into small ponds. These ponds are typically modest in size, covering 1 to 50 hectares, with depths between 2 and 4 meters. Significantly, no stable fresh water bodies were identified among the studied ponds. The hydrochemical analysis reveals a prevalence of sulphates and chlorides among anions, and magnesium and sodium among cations. The water is extremely hard.

A brief description of several gullies in the Saksahan River basin is presented below. These gullies are located in the northern part of Kryvyi Rih and are influenced by the Private Joint Stock Company Northern Iron Ore Enrichment Works (PJSC Northern GOK) (Fig. 1). The paper also describes a number of gullies in the central part of the city, which are confined to the Inhulets River basin.

One of the largest right-bank gullies of the Saksahan River, the *Pivnichna Chervona gully*, extends for 24 km and has a catchment area of 78 km², it is currently partially filled with waste rock dumps resulting from the development of the Northern Iron Ore Enrichment Works quarry. The surface topography of the gully is gentle; as the elevation decreases, the contours become more defined, a valley floor emerges, and the thalweg widens, gradually narrowing toward the central section of the gully. A short stream flows along the valley floor, which is marshy. The total water mineralization in the gully fluctuates within 1,5 g/dm³, with a water hardness of 17



mmol/dm³. Weakly altered steppe plant communities have been preserved on the slopes, which led to the establishment of a nature reserve with the corresponding designation.



Figure 1 – The gullies of the Saksahan River basin, which are subject to man-made impacts from the Northern Iron Ore Enrichment Works.

(Google Earth Pro open platforms)

The *Hriadkuvata gully*, which extends for 6,5 km and has a drainage basin of 14 km², merges with the Saksahan River in the vicinity of the Pervomaiske Ore Management of the Private Joint Stock Company Northern Iron Ore Enrichment Works (PJSC Northern GOK). The initial 3 km of the gully feature an intermittent water flow and minor channel erosion on gentle slopes, which are covered by vegetation and stand at a height of 2 to 3 meters. In the lower sections of the gully, a continuous stream is present, flowing through a marshy valley floor rich with characteristic wetland plants. The water chemistry is of the sulfate-hydrocarbonate-chloride type, dominated by magnesium, calcium, and sodium ions, and exhibits a moderate total dissolved solids



concentration of $1,7 \text{ g/dm}^3$ and a water hardness of 20 mmol/dm^3 . The gully's terminal section widens into a small, fan-shaped alluvial deposit, where several homes are located before the channel disappears entirely. The gully has undergone significant degradation, initiated by pre-revolutionary mining on its right slope. This process was exacerbated from the 1960s onward by the expansion of spoil heaps from the Pervomaiske quarry of the Northern Iron Ore Enrichment Works, alongside residential development and the proliferation of waste disposal sites.

A microdistrict of Kryvyi Rih and the Kryvyi Rih Botanical Garden are situated along the left slope of the *Pryvorotna gully*'s middle section. The gully has a total length of 6,9 km, including its 5,2 km main thalweg and three left-side spurs, and its catchment area covers $15,6 \text{ km}^2$. The stream's water flow is weak. The water's chemical composition is sulfate-chloride, with dominant calcium, magnesium, and sodium ions, and a mineralization of $2,0 \text{ g/dm}^3$ and a hardness up to 25 mmol/dm^3 . In its lower part, the gully widens dramatically to 50-55 m, and the slopes become steeper, reaching up to 12 m in height with an incline of $20\text{-}25^\circ$. The gully remains in a relatively good state of preservation, hosting forest plantations. Three of its left branches are now part of the Kryvyi Rih Botanical Garden, providing a protected habitat for steppe vegetation.

The *Petrikova gully* is a large gully with dendritic landform, similar in size and structure to the Pivnichna Chervona gully. Its main body is now occupied by the tailings storage facility of the Northern Iron Ore Enrichment Works, leaving only a 2,5 km lower spur intact. The gully's water, characterized by its high salinity, results from the discharge of process water from this facility. This water exhibits a mineralization of $6,9 \text{ g/dm}^3$ and a hardness of 48 mmol/dm^3 , classifying it as a sodium-magnesium-calcium group chloride-sulfate type. The gully serves as a conduit for these highly mineralized process waters, which are ultimately discharged into the Saksahan River.

The *Motina gully*, located upstream of the Saksahan River, serves as a key site for examining patterns of change in water mineralization over time. As shown in Figure 2, data from a pond within this gully, which is less affected by the Northern Iron Ore Enrichment Works (PJSC Northern GOK) tailings than other local water bodies, demonstrates the impact of mining activities. A long-term hydrochemical observation



series, spanning from 1978 to 2023, provides a robust basis for assessing these changes. The initial mineralization value of 1,1 g/dm³ in 1978 rose to 1,7 g/dm³ by 1986, followed by a sharp decline to 1,1-1,2 g/dm³ in 1987-1988 [7]. Although constant fluctuations were recorded throughout the entire period, their amplitude has diminished, while the overall mineralization has shown a continuous upward trend. This is evidenced by the increase from 2,2 g/dm³ in 2010 to 3,8 g/dm³ in 2023.

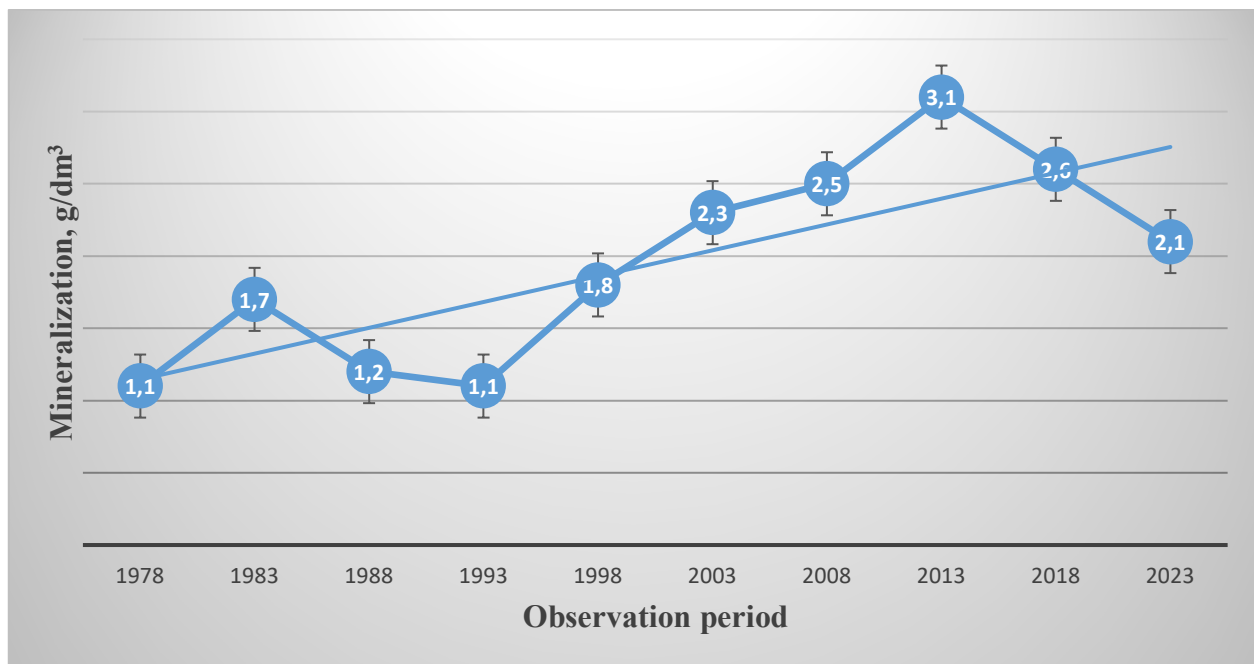


Figure 2 – Dynamics of the water mineralization level in the Motina gully (area of the Northern Iron Ore Enrichment Works influence), during 1978-2023 (Authoring [7], Alokhina T.)

The gullies within the central district of Kryvyi Rih belong to the Inhulets River basin and, like those in the Saksahan basin, have been significantly altered by mining activities. The tailings storage facility of the Private Joint Stock Company Central Iron Ore Enrichment Works (PJSC Central GOK) was established in the upper and middle sections of the Velyka and Mala Lozuvatka gullies, which flow into the Karachunivske Reservoir (Fig.3). The *Velyka Lozuvatka gully* was originally 10,7 km long with a catchment area of 19 km². It featured a temporary watercourse and several small ponds in its upper reaches. The *Mala Lozuvatka gully* was 4,6 km long, with a catchment area of 5 km². Several ponds were established in the Velyka Lozuvatka gully, including an



upper pond (100 x 70 m) located directly below the Central Iron Ore Enrichment Works spoil heap. A drainage pump station on the pond's shore receives both filtered water from a horizontal drain along the spoil heap and water from dewatering wells. This system intercepts and returns an average of 125,000 m³ of water per year (14 m³/hour) to the tailings storage facility. The chemical composition of the pond water differs significantly from natural water. The water in the Velyka Lozuvatka gully pond is of the calcium-sodium-magnesium sulfate type, with a mineralization of up to 6,5 g/dm³ and a total hardness of 66,5 mmol/dm³ (Table 1). The water also shows elevated concentrations of fluorine, boron, bromine, and iron. The average iron content is 8,8 mg/dm³ (29 MPC).

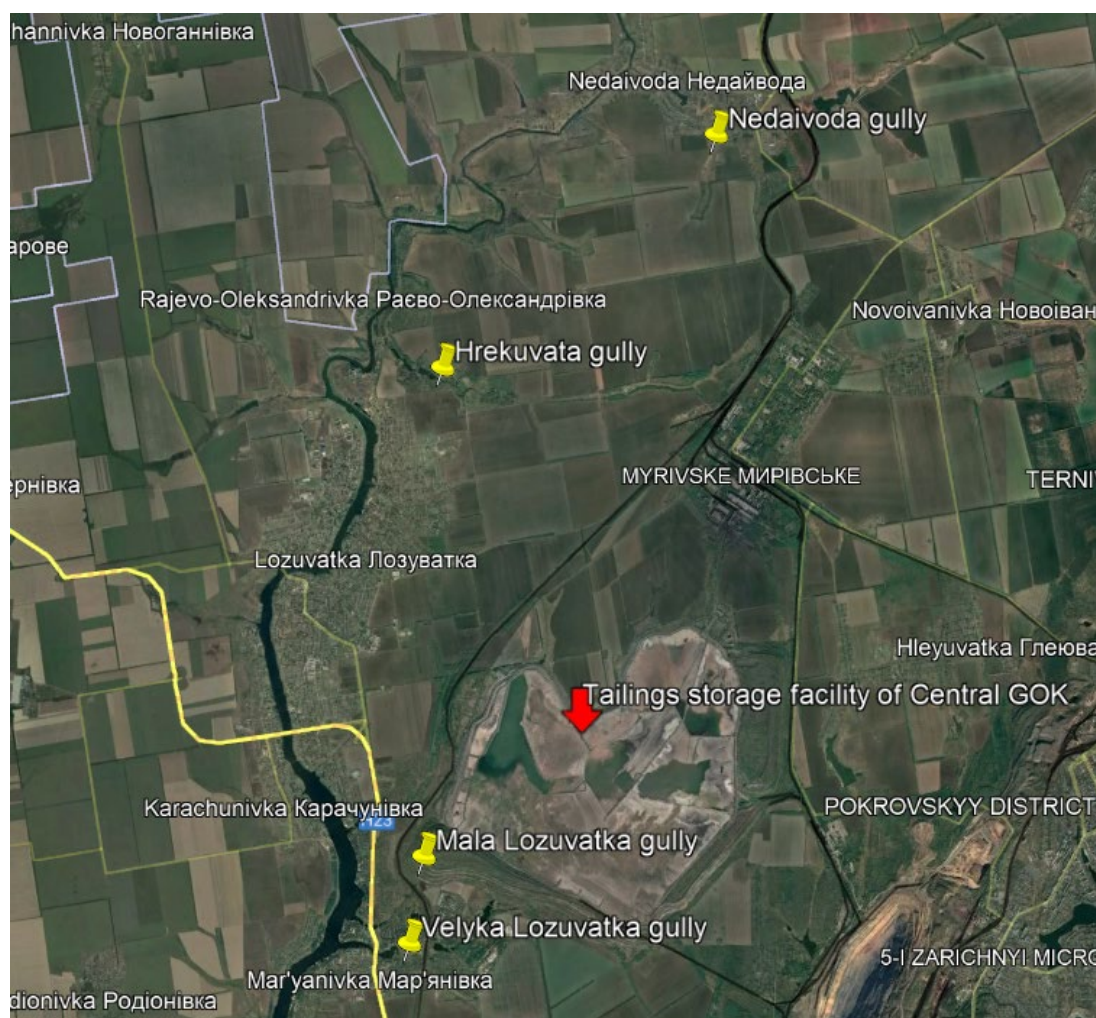


Figure 3 – The gullies of the Inhulets River basin, which are subject to man-made impacts from the Central Iron Ore Enrichment Works (*Google Earth Pro open platforms*)



The water in the *Hrekuvata* gully pond is classified as chloride-sulfate, magnesium-calcium-sodium type, with a mineralization of up to 4,3 g/dm³ (Table 1). Among the hazardous components, the water shows an elevated concentration of bromine at 2,27 mg/dm³ (11,35 MPC). At the confluence of the *Hrekuvata* gully and the *Inhulets* River, a pond is situated. The water in this pond is of the calcium-magnesium-sodium sulfate type, with a mineralization of up to 4,0 g/dm³ and a hardness of up to 38 mmol/dm³.

Table 1 – Indicators of the gullies' water chemical composition located in the area of influence of the Central Iron Ore Enrichment Works

Object	Indicators, M±m			
	Mineralization, g/dm ³	Water hardness, mmol/dm ³	Cl ⁻ , mg/dm ³	SO ₄ ²⁻ , mg/dm ³
Velyka Lozuvatka gully	6,5±1,18	66,5±5,46	644,0±59,5	3311±287,5
Mala Lozuvatka gully	1,0±0,12	9,0±1,23	125,5±21,8	387±35,4
Hrekuvata gully	1,5±0,11	13,0±3,12	485,5±58,4	3732±410,0
Nedaivoda gully	2,5±0,22	24,0±4,11	319,0±28,9	1020±98,5

(Authoring [7], Alokhhina T.)

Another gully located in the influence zone of the Central Iron Ore Enrichment Works' (PJSC Central GOK) tailings storage facility is the *Nedaivoda* gully. It had a length of 10,5 km with a catchment area of 33 km². The gully features a temporary watercourse with several small ponds in its upper reaches. The water in the *Nedaivoda* gully ponds is of the chloride-sulfate, calcium-magnesium-sodium type, with a mineralization ranging from 1,6 to 3,7 g/dm³ and a total hardness from 15 to 33 mmol/dm³. Among the elements of Hazard Classes II-III, elevated concentrations of manganese, bromine, and iron are observed.

Conclusions.

Thus, it can be concluded that the long-term and large-scale iron ore mining operations in Kryvbas have led to a significant transformation and, in some cases, the complete destruction of the region's gullies, which are integral parts of the hydrological network. Our research into the water chemistry of these gullies reveals substantial



alterations, with long-term monitoring showing a persistent rise in water mineralization. The steady trend of rising water mineralization in the overall hydroecosystem of the Inhulets River results in a decrease in the system's buffering capacity, which in turn leads to a reduction in biodiversity.

References:

1. Maus Victor, da Silva Dieison M, Gutschlhofer Jakob, da Rosa Robson, Giljum Stefan, Gass Sidnei L B, Luckeneder Sebastian, Lieber Mirko, McCallum Ian. Global-scale mining polygons / Pangaea. – 2022. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942325>
2. National Report on the State of the Natural Environment in Ukraine in 2021. – Kyiv: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
3. Bazaluk Oleg, Mykhailo Petlovanyi, Kateryna Sai, Maksym Chebanov, Vasyl Lozynskyi. Comprehensive assessment of the earth's surface state disturbed by mining and ways to improve the situation: case study of Kryvyi Rih iron-ore basin, Ukraine / Frontiers in Environmental Science. DOI:10.3389/fenvs.2024.1480344
4. Alokina T. Ecology of the technogenic reservoirs in mining regions. Zeszyty Naukowe MANs w Łomży. Nr. 97.2025. – P.53-65
5. Syvyj, M. J., Ivanov, Y. A., Panteleeva, N. B., and Varakuta, O. M. The problem of rational use of mineral resources and mining waste in the context of sustainable development of regions. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. –2023, 1254 (1), 012134. DOI:10.1088/1755-1315/1254/1/012134
6. Kazakov V.L. Gullies of the Saksahan River basin / Materials of the Kryvyi Rih State Pedagogical University cathedral scientific research topics. Kryvyi Rih. – Is. 4. 2009. – P.12-19.
7. Sherstyuk N.P., Khilchevskiy V.K. Features of hydrochemical processes in man-made and natural water objects Kryvbass – Dnipropetrovsk, 2012. - 263 p.



УДК 504:630

THE IMPACT OF MILITARY OPERATIONS ON FOREST ECOSYSTEMS AND THEIR RESTORATION MANAGEMENT

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА СТАН ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ТА УПРАВЛІННЯ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯМ

Panova S.M. / Панова С.М.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

Dolyna O.O. / Долина О.О.

с.б.с., / к.б.н.

ORCID: 0000-0002-4175-746X

Kryvyi Rih National University,

Kryvyi Rih, Vitaly Matusevich str., 11, 50027

Криворізький національний університет,

м. Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича, 11, 50027

Анотація. Досліджені головні чинники впливу бойових дій на ліси. Визначено види механічного та хімічного пошкодження лісових екосистем та їх компонентів. Надано рекомендації щодо раціонального управління та відновлення лісів після впливу бойових дій. Відновлення базується на створенні додаткових насаджень та оселищ у місцях пошкоджень. Управління здійснюється за рахунок державної політики, просвітницької діяльності та підвищення екологічної свідомості.

Ключові слова: лісові екосистеми, управління, бойові дії, оселища, збереження екосистем, сталий розвиток.

Вступ.

Під час війни екосистеми лісів зазнають значного негативного впливу через використання як природних сховищ для військової техніки та особового складу. Вони піддаються обстрілам різними видами зброї та іншим пошкодженням.

Пересування військ, довготривалі бойові дії, будівництво баз та фортифікаційних споруд призводить до подальшого проникнення військ у глибокі природних територій, включаючи ліси та заповідники. Наслідком цього стало інтенсивне механічне пошкодження ґрунтового покриву, що викликає деградацію структури та видового різноманіття рослинності, а також посилення ерозії.

Спираючись на дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, станом на 1 березня 2022 року від бойових дій постраждали природні ценози на території 900 об'єктів ПЗФ загальною площею більше 12 тис. км², що відповідає приблизно третині площі земель природно-заповідного фонду всієї України.



Близько 200 об'єктів Смарагдової мережі загальною площею 2,9 млн га також під загрозою знищення. Ареали деяких раритетних і ендемічних видів оселищ, таких як цілинні степи, крейдянні схили, приморські оселища в південних регіонах та болота на півночі країни, потрапили в зону інтенсивних бойових дій, що загрожує їхньому виживанню.

У лісах залишилося безліч нерозірваних боєприпасів, які являють потенційну небезпеку для людей, та будуть небезпечними ще протягом багатьох десятиліть.

Через бойові дії значно зросла імовірність виникнення лісових пожеж внаслідок детонування боєприпасів. Особливо небезпечним періодом в цьому сенсі є проміжок з травня по вересень, коли рівень пожежної небезпеки і так підвищений через погодні умови – зменшена вологість та висока температура атмосферного повітря.

Під час детонації боєголовок ракет і артилерійських боєприпасів утворюються різні хімічні сполуки: чадний газ (CO), вуглекислий газ (CO_2), азот (N_2), оксид азоту (NO), діоксид азоту (NO_2), закис азоту (N_2O), формальдегід (CH_2O), пари ціанистої кислоти (HCN), водяна пара (H_2O), а також безліч токсичних органічних сполук. Ці речовини окислюються, та взаємодіють з ґрунтом, деревиною, трав'янистою дерниною і конструкціями навколо.

Металеві уламки із домішками заліза, вуглецю, сірки, міді та інших небезпечних сполук потрапляють до ґрунту і можуть проникати до ґрунтових вод, що згодом впливає на харчові ланцюги, зачіпаючи тварин і людей.

Також відбувається забруднення поверхні ґрунтів паливно-мастильними матеріалами та нафтопродуктами відбувається через рух і пошкодження сухопутної військової техніки. Ґрунти, насичені паливно-мастильними матеріалами, мають знижену водопроникність, порушений баланс кисню і дестабілізовані біохімічні та мікробіологічні процеси. Усі компоненти нафти є токсичними для живих організмів. Це призводить до погіршення водного і повітряного режимів, а також обміну поживних речовин. У результаті порушується кореневе живлення рослин, уповільнюється їхній ріст і розвиток,



що може спричинити їх загибель. Крім того, вуглеводні, що містяться у нафтопродуктах, можуть розчиняти велику кількість інших токсикантів, які утримуються у ґрунтах в нерозчиненій формі. Зокрема, це важкі метали, пестициди, гербіциди тощо, які переходять у активний стан та призводять до отруєння мікробоценозу та рослин [9].

Отже, актуальним є питання класифікації впливів на стан лісових екосистем від бойових дій, а також аналіз способів збереження та відновлення лісових фітоценозів.

Результати досліджень. За результатами аналізу інформації з відкритих джерел, можна виділити основні чинники впливу воєнних дій на лісові екосистеми:

- Вибухи різноманітних боєприпасів, ракет та мін: Це призводить до руйнування ґрунтового та рослинного покриву, спричиняючи великі вирви та пожежі.
- Політ куль та фрагментів боєприпасів, що розірвалися: Це пошкоджує дерева та інші рослини, а також становить загрозу для дикої фауни.
- Падіння підбитих літальних апаратів і ракет: Це не тільки спричиняє пожежі, але й забруднює територію токсичними речовинами.
- Вибухи і займання військової техніки внаслідок влучання снарядів, наїздів на міни: Це часто спричиняє великі пожежі в лісах.
- Підпали сухостою та лісових насаджень: Такі пожежі можуть швидко поширюватися, знищуючи великі площі лісу.
- Пересування військової техніки: Це ущільнює ґрунт, руйнує кореневу систему рослин і спричиняє ерозію.
- Будівництво інженерних укріплень у межах лісових насаджень: Це призводить до вирубування дерев і порушення природного середовища.
- Неконтрольовані вирубування дерев для будівництва та палива: Це зменшує лісові площі і порушує екосистему.
- Залишені та захоронені тіла загиблих людей і тварин: Це може спричинити забруднення ґрунту і води.



- Залишене сміття, паливно-мастильні матеріали, залишки техніки та озброєння: Це призводить до хімічного забруднення територій, що негативно впливає на флору і фауну.

Ці чинники мають серйозні та довгострокові наслідки для лісових екосистем, що потребують значного часу та ресурсів для відновлення.

Майже два мільярди людей залежать від лісів Землі як основного джерела існування. Відсутність їх призведе до втрати таких важливих умов, як вода, їжа, притулок і дохід для цих громад.

Дерева справляють величезний вплив на навколишнє середовище. Крім багатьох життєво важливих функцій, вони служать природними очищувачами повітря та беруть участь у прямій боротьбі зі зміною клімату. Коли рівень вуглекислого газу в атмосфері зростає, густі ліси діють як поглиначі вуглецю, поглинаючи та перетворюючи CO₂ на необхідний для життя кисень, тим самим зменшуючи забруднення повітря [6].

Серед основних підходів до збереження лісових насаджень на різних рівнях організації систем управління виділено основні п'ять [1]:

Спосіб 1. Скорочення споживання, повторне використання продукції, переробка деревної сировини. Одним із найпростіших і найефективніших способів захисту лісів є мінімізація вуглецевого сліду, зменшення відходів та їх переробка. Зменшивши попит на нові продукти, ми можемо зменшити тиск на ліси, які часто страждають від вирубки та перетворення земель. Також ефективно повторно використовувати продукти, щоб зменшити споживання ресурсів, які завдають шкоди природному середовищу існування та забезпечити можливість виконання лісами їх основних функцій.

Функції лісів.

- *Збереження біорізноманіття:* ліси служать генетичним резервуаром для широкого спектру форм життя, що робить їх вирішальними для збереження біорізноманіття Землі.

- *Регулювання клімату:* ліси – поглиначі вуглецю, поглинають та фіксують вуглекислий газ (CO₂) з атмосфери. Це допомагає пом'якшити наслідки зміни



клімату шляхом зменшення рівня парникових газів.

- *Покращення якості повітря:* ліси фільтрують забруднюючі речовини з повітря, покращуючи якість повітря навколишніх територій.

- *Водні ресурси:* ліси поглинають дощову воду, дозволяючи їй просочуватися в землю та поповнювати водоносні горизонти. Вони регулюють поверхневий стік, запобігаючи повеням і посухам.

- *Збереження ґрунту:* коренева система дерев та іншої рослинності в лісах допомагає зв'язувати ґрунт, запобігаючи ерозії та зберігаючи родючість.

- *Економічні вигоди:* ліси є джерелом засобів до існування для мільйонів людей. Вони продукують деревину та недеревну лісову продукцію (наприклад, горіхи, фрукти та лікарські рослини).

- *Культурна та рекреаційна цінність:* ліси мають культурне та духовне значення для багатьох корінних народностей та громад, а також виступають у якості місць відпочинку.

- *Дослідження та освіта:* ліси є цінними для вивчення екосистем, зміни клімату та екологічних процесів.

- *Лікарські ресурси:* багато видів рослин, що ростуть у лісах, мають лікувальні властивості [7-8].

Спосіб 2. Підтримка сталого лісового господарства. Безвідповідальна вирубка може завдати шкоди лісам. Щоб боротися з цим, людство має стати та шлях запровадження методів ведення сталого лісового господарства. Це означає придбання продукції з такими сертифікатами, як FSC (Лісова Опікунська Рада), яка гарантує, що вироби з деревини походять із відповідально керованих лісів.

Сталий розвиток та лісове господарство.

- *Планування та інвентаризація лісів:* ефективне управління лісами починається з комплексного планування та інвентаризації. Оцінюють сучасний стан лісу, в тому числі породний склад, вікову структуру, санітарний стан. Ця інформація допомагає у встановленні цілей управління та стратегії.

- *Чіткі цілі:* врахування екологічних, економічних та соціальних факторів. Цілі можуть включати виробництво деревини, збереження біорізноманіття,



захист водних ресурсів та можливості відпочинку. Збалансування цих цілей має важливе значення для довгострокової стійкості.

- *Методи вибіркової рубки та лісозаготівлі:* мінімізують шкоду завдану лісу, що залишився, і захищають біорізноманіття. Ці практики часто передбачають вирубку конкретних дерев, а не суцільну вирубку цілих ділянок.

- *Лісовідновлення та регенерація:* посадка місцевих порід дерев і забезпечення їх виживання допомагає підтримувати екологічну цілісність лісу та забезпечує майбутні запаси деревини.

- *Збереження територій високої природоохоронної цінності:* території можуть включати критичні місця існування дикої природи, рідкісні види рослин або культурно важливі місця.

- *Моніторинг і адаптивне управління:* використання даних, щоб адаптувати управління лісовим господарством для досягнення цілей сталого розвитку. Адаптивне управління забезпечує розвиток стратегій на основі актуальних даних і знань.

- *Обмеження масштабу лісозаготівлі:* швидкість видобутку деревини не перевищує здатність лісу до відновлення. Це запобігає надмірній експлуатації та забезпечує постійне постачання лісової продукції.

- *Програми сертифікації:* багато лісів проходять сертифікацію такими організаціями, як Лісова Опікунська Рада (FSC) або Ініціатива Сталого Лісового Господарства (SFI). Сертифікація підтверджує відповідність методів ведення лісового господарства встановленим стандартам сталого розвитку, що полегшує споживачам підтримку продукції сталого лісового господарства.

- *Залучення громади:* до прийняття рішень, надання можливостей для працевлаштування. Повага до традиційних знань може підвищити соціальну стабільність управління лісами.

- *Дослідження та інновації:* є важливими для підвищення стійкості. Це включає розробку ефективніших методів заготівлі, вивчення наслідків зміни клімату та пошук шляхів підвищення стійкості лісів.

- *Освіта та інформаційно-просвітницька діяльність:* допомагають



споживачам робити усвідомлений вибір і заохочують підтримку методів сталого управління лісами.

Спосіб 3. Участь в ініціативах з відновлення лісів. Активна участь у зусиллях із відновлення лісів є водночас і винагородою, і задоволенням. Волонтерство із місцевими та громадськими організаціями, щоб висаджувати дерева та відновлювати деградовані ліси – елементарна дія, яку може виконати майже кожен, від дитини до людей поважного віку. Ці ініціативи допомагають відновити лісові екосистеми, сприяють поглинанню вуглекислого газу, пом'якшуючи наслідки зміни клімату та парниковий ефект, забезпечують необхідні оселища для лісових видів, сприяючи збереженню біорізноманіття.

Переваги участі у заходах з лісовідновлення.

- *Боротьба зі зміною клімату:* дерева є природними поглиначами вуглецю, поглинаючи вуглекислий газ (CO_2) з атмосфери та зберігаючи його як вуглець у своїй біомасі.

- *Відновлення екосистем:* лісовідновлення сприяє відновленню екосистем, які могли бути пошкоджені внаслідок вирубки лісів, розвитку міст, бойових дій або стихійних лих.

- *Покращення якості повітря міст:* дерева фільтрують повітря, затримуючи забруднюючі речовини та вивільняючи кисень за допомогою фотосинтезу.

- *Покращення якості води:* коренева система запобігає ерозії ґрунту та фільтрує забруднювачі від потрапляння в річки та струмки.

- *Запобігання ерозії ґрунту:* дерева та їх коренева система допомагають стабілізувати ґрунт, запобігаючи ерозії та зсувам. Це особливо важливо в горбистих або гірських регіонах, де ерозія може бути серйозною проблемою.

- *Економічні можливості:* проекти лісовідновлення надають можливості працевлаштування. Громади можуть отримати вигоду від робочих місць, пов'язаних із посадкою, управлінням лісами, заготівлею лісової продукції.

- *Підтримка сталого сільського господарства:* дерева можуть створити сприятливий мікроклімат для сільськогосподарських культур. Практика агролісомеліорації, яка поєднує посадку дерев із сільським господарством, може



покращити родючість ґрунту, підвищити врожайність культур.

- *Відпочинок та екотуризм*: лісовідновлені території можуть стати напрямками для екотуризму та відпочинку на природі.

- *Підвищення естетики та добробуту*: зелені зони та ліси позитивно впливають на психічне та фізичне самопочуття.

- *Довгострокова стійкість*: лісовідновлення – це інвестиція в майбутнє. Висаджуючи дерева сьогодні, ми гарантуємо, що майбутні покоління отримають користь від здоровіших екосистем, чистішого повітря, води та більш стійких ландшафтів.

- *Глобальне підключення*: лісовідновлення сприяє глобальним зусиллям по боротьбі з вирубкою та відновленню лісів, підтримуючи міжнародні цілі щодо збереження біорізноманіття та пом'якшення кліматичних змін.

Спосіб 4. Пропаганда та агітація за збереження лісів. Дуже важливо підтримувати політику та організації, які працюють над захистом лісів у глобальних та місцевих масштабах. Виступаючи за посилення зусиль щодо збереження, ми можемо якісно вплинути на порятунок лісів.

Важливість пропаганди лісового суспільства.

- *Вплив на політику*: пропаганда може вплинути на урядову політику та законодавство щодо збереження лісів.

- *Поінформованість громадськості*: про важливість лісів, загрози, з якими вони стикаються, і наслідки вирубки лісів.

- *Залучення громади*: міцніші альянси громадян та державних установ для збереження природи.

- *Корпоративна відповідальність*: заохочення підприємств та промисловості застосовувати новітні практики виробництва та зменшувати вплив на ліси.

- *Глобальний вплив*: юридична та екологічна грамотність може підвищити обізнаність про глобальний характер збереження лісів. Дії в одній частині світу можуть мати наслідки далеко за межами окремої екосистеми.

Методи пропаганди збереження лісів.



- *Кампанії з підвищення обізнаності громадськості:* залучаючи соціальні медіа, телебачення, радіо та пресу, щоб поінформувати людей про важливість лісів і загрози, з якими вони стикаються.

- *Співпраця з природоохоронними організаціями:* використання їх досвіду та ресурсів у пропагандистських зусиллях.

- *Наукові дослідження:* пошук аргументів та рішень для збереження лісів.

Спосіб 5. Практика відповідального відпочинку на природі. Необхідно завжди дотримуватися принципів Leave No Trace (не залишай слідів) під час походів чи кемпінгу. Це означає мінімізувати свій вплив на середовище, викидаючи сміття, залишаючись на визначених стежках і поважаючи дику природу та рослинність. Будучи відповідальним ентузіастом активного відпочинку, кожен здатен сприяти довгостроковому збереженню лісів [2-4].

Значення рекреації в лісах.

- *Здоров'я та благополуччя:* відпочинок у природних умовах, таких як ліси, дає можливість уникнути стресів повсякденного життя. Це сприяє фізичній формі, зменшує стрес і покращує психічне благополуччя. Проведення часу в лісі пов'язують із зниженням рівня тривоги та депресії під час війни.

- *Зв'язок із природою:* взаємодія з навколишнім середовищем, піші прогулянки, кемпінг і спостереження за птахами.

- *Освітні можливості:* можливість дізнатися про екосистеми, дику природу та охорону природи, сприяючи розвитку екологічної обізнаності та екологічної грамотності людей різного віку.

- *Соціальний зв'язок:* проведення часу з родиною, колегами та друзями.

- *Зменшення стресу:* звуки шелесту листя, спів птахів і плинна вода діють заспокійливо, знімають стрес і сприяють розслабленню.

- *Пропаганда збереження:* підтримка зусиль щодо захисту та раціонального використання лісів.

Принципи відповідального відпочинку в лісах.

- *Leave No Trace (не залишати слідів):* включають упакування всього сміття, мінімізацію впливу багаття, перебування на визначених стежках і повагу до



дикої природи.

- *Планування заздалегідь*: дослідження місцевість, яку плануєте відвідати, включно з правилами та умовами маршруту. Будьте готові з відповідним спорядженням, одягом і приладдям, щоб забезпечити вашу безпеку та комфорт.

- *Відповідальне ставлення до табору*: вибір встановлених місць для кемпінгу в лісах і дотримання правил розведення багаття. Використання для приготування їжі похідну піч замість розведення відкритого вогню.

- *Дотримання стежок*: не створюйте нових доріжок і прямих шляхів.

- *Мінімізація шумового забруднення*: зведіть рівень шуму до мінімуму, щоб зберегти спокій лісу та не турбувати дику природу [5, 10].

Таким чином, усі заходи з лісовідновлення можна розділити на дві основні групи:

1. відтворення та вирощування нових дерев на заміну старих або знищених внаслідок бойових дій та супутніх явищ:

- відновлення територій, які постраждали через безпосередній вплив бойових дій (вибухи, пожежі, хімічне забруднення);
- відновлення деревостану після вирубування при заготівлі лісоматеріалів;
- оновлення колишніх лісових масивів після виведення бойових підрозділів;
- лісовідновлення після випалювання, неконтрольованого вирубування, дестабілізації ґрунтового покриву та інших антропогенних впливів;
- підтримка балансу біогеоценозів та біорізноманіття після закінчення ведення бойових дій;
- забезпечення середовища існування для угруповань біоти.

2. управління станом існуючих лісових систем:

- скорочення споживання, повторне використання, переробка;
- підтримка сталого лісового господарства;
- участь в ініціативах з відновлення лісів;
- агітація та просвітницька робота про збереження лісів;
- практика відповідального відпочинку на природі.



Висновки.

1. Найбільш суттєвими проблемами що виникають внаслідок бойових дій є знищення від обстрілів, вирубка та вигорання для лісів; механічне пошкодження ґрунтів за рахунок пересування важкої техніки та хімічне забруднення металічними частками та хімічними сполуками від детонації боєприпасів.

2. Найбільш дієвими способами для збереження лісів є грамотна державна політика та освітня діяльність, направлені на раціональне користування лісовими насадженнями та продукцією що з них походить, як на рівні окремих осіб та громад, так і на обласному і національному рівні.

3. Процеси лісовідновлення можуть бути реалізовані як за рахунок природного заростання, так і зі здійсненням штучних посадок дерев. При лісовідновленні необхідно враховувати кліматичні та ґрунтові умови території.

4. Процеси відновлення лісів, пошкоджених бойовими діями, включають оптимізацію деревостану, оновлення існуючих лісових масивів, рекультивацію і меліорацію пошкоджених ґрунтів, створення та підтримку оселищ для зональних, ендемічних та созологічно цінних видів біоти.

5. Управління станом лісових фітоценозів полягає у підтримці їх сталого розвитку, просвітницькій та політичній орієнтованості на збереження та відновлення лісів, а також на індивідуальному відповідальному ставленні щодо поводження з лісовими екосистемами.

Література.

1. Bastrup-Birk, A., Gundersen, P. (2004). Water quality improvements from afforestation in an agricultural catchment in Denmark illustrated with the INCA model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(4), 764-777.
2. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642ru>.
3. <http://www.fao.org/international-day-of-forests/key-messages/ru>.
4. <http://www.fao.org/news/story/ru/item/1183542/icode E>
5. <http://www.fao.org/in-action/action-against-desertification/en/>
6. Lamtom, Sabah & Savidge, Rodney. (2003). A reassessment of carbon content



in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass & Bioenergy - BIOMASS BIOENERG. 25. 381-388. 10.1016/S0961-9534(03)00033-3.

7. Mikaela Weisse, Elizabeth Goldman. We Lost a Football Pitch of Primary Rainforest Every 6 Seconds in 2019. World Resources Institute. June 2, 2020.

8. The urgency of action to tackle tropical deforestation. February 2020. Prepared for IDH by FACTS Consulting, COWI A/S, and AlphaBeta Singapore. IDH: Utrecht, the Netherlands.

9. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення // Вісник ЛДУБЖД, №27, 2023. – С.16-22.

10. The State of the World's Forests // FAO, Rome, Italy. 2024 122 p. <https://doi.org/10.4060/cd1211en>.

References

1. Bastrup-Birk, A., Gundersen, P. (2004). Water quality improvements from afforestation in an agricultural catchment in Denmark illustrated with the INCA model. Hydrology and Earth System Sciences, 8(4), 764-777.

2. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642ru>.

3. <http://www.fao.org/international-day-of-forests/key-messages/ru>.

4. <http://www.fao.org/news/story/ru/item/1183542/icode E>

5. <http://www.fao.org/in-action/action-against-desertification/en/>

6. Lamtom, Sabah & Savidge, Rodney. (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass & Bioenergy - BIOMASS BIOENERG. 25. 381-388. 10.1016/S0961-9534(03)00033-3.

7. Mikaela Weisse, Elizabeth Goldman. We Lost a Football Pitch of Primary Rainforest Every 6 Seconds in 2019. World Resources Institute. June 2, 2020.

8. The urgency of action to tackle tropical deforestation. February 2020. Prepared for IDH by FACTS Consulting, COWI A/S, and AlphaBeta Singapore. IDH: Utrecht, the Netherlands.

9. Kuzyk A.D. Tovaryanskyi V.I. (2023) The impact of military actions on forest ecosystems of Ukraine and their post-war restoration // Bulletin of Lviv State University of Life Safety, №27, 2023. – P. 16-22.

10. The State of the World's Forests // FAO, Rome, Italy. 2024 122 p. <https://doi.org/10.4060/cd1211en>.

Abstract. *The main factors influencing the impact of military operations on forests have been studied. Types of mechanical and chemical damage to forest ecosystems and their components have been identified. Recommendations for rational management and restoration of forests after military operations have been provided. Restoration is based on the creation of additional plantings and habitats in damaged areas. Management is carried out through state policy, educational activities, and raising environmental awareness.*

Keywords: *forest ecosystems, management, military operations, habitats, ecosystem conservation, sustainable development.*



УДК 502.3

**MONITORING OF PERENNIAL PLANTS IN FOREST STRIPS IN
EASTERN UKRAINE UNDER THE IMPACT OF MILITARY OPERATIONS
МОНІТОРИНГ БАГАТОРІЧНИХ РОСЛИН В ЛІСОСМУГАХ НА СХОДІ УКРАЇНИ В
УМОВАХ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ**

Babenko V.M. / Бабенко В.М.*k.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1578-3445

Tykhomyrova T. S. / Тихомирова Т.С.*k.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9124-9757

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",**Kharkiv, Kyrypichova, 2, 61002**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,**Харків, Кирпичова, 2, 61002*

Анотація. В роботі розглядаються багаторічні рослини, дерева двох видів клену та пірамідальна тополя лісосмуг східних областей України що потерпали від антропогенного втручання та впливу військових дій. За результатами досліджень оцінено зміни в видовому й віковому складі та визначено можливості швидкого відновлення лісосмуг в якості захисної складової від процесів ерозії в сільському господарстві. Для обраних видів наведено їх головні екологічні особливості, переваги та недоліки.

Ключові слова: моніторинг, лісосмуги, багаторічні деревні рослини, клен (*Acer*), Тополя пірамідальна (*Populus pyramidalis* L.) екологія, захист навколишнього середовища, вплив військових дій.

Вступ.

Рослини, а саме багаторічні дерева, завжди відігравали ключову роль в житті людини. Навіть в XX та XXI столітті їх важливість не зменшилась, а враховуючі тенденції глобального потепління навіть виходить на перші ролі в екології та захисту навколишнього середовища. Поглинання й виведення деревами зайвої кількості карбону з атмосфери зменшує парниковий ефект, створює природний бар'єр по захисту навколишнього середовища, та головне що відновлення лісосмуг знижує вітрову ерозію орних земель.

На сьогоднішній день, однією з актуальних проблем Всеєвропейської стратегії збереження рослин [1] є їх відновлення задля зупинення та повернення назад процесу деградації біологічного і ландшафтного різноманіття в Європі, а в умовах доволі сухого степового клімату сходу України лісосмуги відіграють важливу роль домівок для багатьох видів птахів та ссавців. Після початку



повномасштабного вторгнення в лютому 2022 року саме лісосмуги та лісові масиви вже більш ніж три роки потерпають від пожеж, обстрілів та банальної вирубки дерев. Після лісових та лугових пожеж навіть спостерігаються зміни в лісових біотопах та річково-лугових екосистемах в східних областях країни [2]. Впливи таких змін почали вивчатись тільки в XXI столітті та нажаль були перервані у 2014 році й практично зупинені по причині військових дій, хоча такі дослідження мають важливий не тільки теоретичний, а скоріше практичний напрям.

Основний текст. Відомо що вплив адвентивних видів рослин на лісосмуги та лісові господарства нашої країни вивчався або поверхнево, або частково і на сьогодні ми не маємо точних наукових відповідей: яку небезпеку вони несуть на і так потерпаючи лісові екосистеми. Ще в XX столітті у світі усвідомили загрозу від інвазійних видів та посилили боротьбу з такими випадками. В Україні, на сьогодні, ситуація погіршується від постійного військового впливу і це не тільки наслідки пожеж, а й привнесення нехарактерних хімічних елементів і їх сполук, особливо це стосується важких металів.

Об'єктом дослідження є окремі ділянки лісосмуг на сході України, а саме в Чугуївському районі Харківський області що на початку повномасштабного вторгнення потрапили під вплив жорстких бойових дій протягом весни та літа 2022 року. Аналіз та оцінка стану лісосмуг проводилися за напрямками геоботанічний популяції серед якої до початку військових дій переважали тополі пірамідальні (*Populus pyramidalis* L.) і сорти клену гостролистого (*Acer platanoides* L.) та клену ясенелистного або американського (*Acer negundo*), останній з яких є інвазійним видом що активно заміщує місцеві види. Дослідження по розповсюдженню інвазійних видів рослин проводились ще на початку 2000-х років та доповідались на різних наукових заходах [3]. Приємною інформацією, на літо 2025 року, є той факт що лісосмуги в Харківський області, які складаються головним чином з клену та волоського горіху, попри весняні заморозки весни 2024 та 2025 років повністю відновились та залишаються в гарному стані хоча і без суттєвого плодоношення.



Мета досліджень – вивчення змін в видовому та віковому складі лісосмуг багаторічних дерев видів тополі пірамідальної, клену гостролистого та прямуючого їм на заміну інвазійного виду клену американського, його поширення в Чугуївському районі Харківської області та визначити вплив останнього на заміщення природних видів.

Натурні спостереження на місцевості, координати 49.902327, 36.631349, (рисунок 1) показали вразливість літніх дерев клену гостролистого (*Acer platanoides* L.) віком від 25 до 40 років, порахованих по віковим кільцям, від антропогенних факторів та впливу військових дій.



Рисунок 1 – Типовий пейзаж частини лісосмуги з клену гостролистого що потрапив під вплив військових дій навесні 2022 року

Аналізуючи стан лісосмуги (рисунок 1) можна стверджувати, що пошкоджені вікові дерева можуть замінюватись молодого поросллю того ж виду клену, якщо ця територія не потрапила під вплив пожеж при яких молоді рослини, віком від 1 до 3 років вигорають повністю.

Окремо було досліджено частини лісосмуг, в цьому районі Харківській області, координати 49.892582, 36.630149, що потрапили в зону степової пожежі (рисунок 2) де частково почались заміни клену гостролистого на клен американський ясенелистий.



Рисунок 2 – Лісосмуга, що потерпала від низової пожежі, зберегла 90% своїх вікових дерев та має молоді рослини віком 2–3 роки

На дослідній ділянці, а це лісосмуга вдовж дороги довжиною 3 кілометра, можна спостерігати як повністю вцілілі частини (рисунок 2), так і частково (рисунок 1) або повністю втрачені вікові насадження. Після натурних досліджень встановлено що ступінь пошкоджень літніх дерев залежить від наступних факторів:

1. Вплив від прямих втручань в лісосмугу, а саме при обстрілах вибуховою та стрілецькою зброєю.
2. Вплив від пожеж, як поверхневих при вигорянні трав'яної рослинності, так і від верхових пожеж по кронам дерев (рисунок 1).
3. Фізичне втручання людини, особливо при рубці дерев та копанні оковів в лісосмугах.
4. Втручання інвазійних трав'янистих видів, особливо при заміщенні трав на амброзію полинолисту (*Ambrosia artemisiifolia* L.), яка гарно розповсюджується та зростає як в Житомирському Поліссі [4] так і в суттєво по сухому клімату сходу України.

Встановлено, що при потраплянні рослин амброзії на частину лісосмуги пошкодженої від фізичного втручання та пожежі, цей інвазійний вид не дає зростати молодим рослинам клену першого року. Таке заміщення дерев



нехарактерною для України трав'яною рослинністю приводить до повного знищення частини лісосмуг, координати місцевості 49.920305, 36.466462 (рисунок 3), особливо це стосується тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* L.) з середньою подовженістю життя 60–70 років.



Рисунок 3 – Лісосмуга, що потерпала від комплексу антропогенних та військових факторів

Тополя пірамідальна, що достатньо широко розповсюджена як на території самих міст сходу України, так і у вигляді лісосмуг, особливо вздовж автошляхів, показала себе з кращої сторони за рахунок швидкого зростання та невибагливості в ґрунтах та природних умов. Тополя пірамідальна росте швидко, до 70 см на рік, особливо в перші 30 років та досягає значних висот, не дає пуху, що робить її привабливою і зручною для озеленення міських територій вздовж пішохідних й автомобільних шляхів.

Натурні спостереження з моніторингу лісосмуг вздовж автошляхів що напряму примикають до міста Харків, показали вразливість тополі пірамідальної від впливу військових дій. Це пояснюється комплексом факторів, як прямий вплив екологічного навантаження від автотранспорту, так і від додаткової фізичної руйнації при використанні всіх видів стрілецької зброї та хімічного впливу при контакті з вибуховою речовиною й підвищенням вмісту важких



металів. Відновлення пошкоджених частин лісосмуг в східних областях України, а саме в Чугуївському районі Харківської області, є проблематичним ще й за рахунок мінування їх російськими військовими навесні та влітку 2022 року. Особливо це стосується південно-східних частин області.

На сьогодні одним із способів вирішення проблем втрати лісосмуг є можливість їх самовідновлення, але тільки тих які переважно складаються з видів клену гостролистого [5]. Екологічні переваги такого виду в тому що він гарно пристосований для природних кліматичних умов нашої країни, достатньо невибагливий до ґрунтів, має тривалість життя 150-200, а іноді до 300 років та росте й розвивається протягом значного періоду часу демонструючи активний розвиток. Але головна перевага його використання в якості домінуючого дерева в лісосмугах полягає в тому що він гарно самовідновлюється через свої плоди або пагони. Саме через такі якості різні сорти клену використовують в зеленому будівництві, ландшафтному дизайні та в якості головного виду лісосмуг. Особливо потрібно зупинитись на проблемах лісосмуг що утворені тополею пірамідальною або тополею чорною. За рахунок наступних властивостей його використовують як в містах, так і в якості насаджень вдовж автошляхів. Головні переваги тополі це: швидке зростання деревини вгору (70 см на рік) та в стовбурі, невибагливість до природних умов, зростання на вологих ґрунтах та здібність переносити легку засоленість, не утворення влітку пуху, витривалість на прямому сонці та досягнення висоти до 30 метрів. Але у такої гарної рослини нажалі є й недоліки що додають турботи при його використанні, це малий термін життя, коли деякі екземпляри вже починають гинути після 25-30 років і саме їх вирубка та заміна на молоді рослини є, на нашу думку, одним з головних недоліків цього виду. Окремо до головного недоліку можна додати не високу витривалість до потужних вітрів, коли дерева переломлюються або вириваються з коренем.

Висновки.

На підставі проведених досліджень в Чугуївському районі Харківської області, де нами обрано три масиви лісосмуг з різними видами дерев, зроблено



наступні висновки та пропозиції. Для першого типу, а саме при використанні клену, його властивості самовідновлення забезпечили зростання молодих дерев зі щільністю 3-4 рослини на квадратний метр, що в майбутньому дає гарний результат та потребує тільки прорідити, при необхідності, низові кущі 1 раз на 10-12 років (рисунк 1). При таких умовах рослини самостійно утворюють щільний масив з потужною кореневою системою та малим освітленням на рівні землі, що в свою чергу не дозволяє розповсюдженню інвазійних трав'яних рослин на кшталт амброзії. Окремо необхідно підкреслити витривалість клену при низових пожежах (рисунк 2), так як після п'яти років зростання є стійке відновлення молодих рослин, які в майбутньому замінюють старі, пошкоджені від антропогенних факторів та хворі рослини щільність яких біля рівня ґрунту досягає 5-15 молодих пагонів на квадратний метр. Це потрібно вважати гарним результатом по відновленню. Що стосується виду тополі пірамідальної, то при наявності цілого переліку переваг нажалі можливості самостійного відновлення таких лісосмуг, особливо біля автомобільних трас не спостерігаються. Ба більше, при зменшенні щільності дерев, які висаджувались в рядок, де відстані між деревами не перевищують 5 метрів, тополі починають достроково гинути (рисунк 3), а процес самовідновлення практично зупиняється. А так як практично всі лісосмути, що розташовані вздовж автомобільних шляхів висаджені тополею в один ряд, то такі проміжки між деревами швидко, за 5-7 років збільшуються отримуючи лавинний ефект. Тому після 7-10 років, при додатковому впливу від автотранспорту лісосмути з тополі стають з прогалинами перестаючи виконувати свою роль. Для лісосмуг, що засаджені тополею, буде доречно наступна пропозиція: поруч з тополями є сенс висаджувати інші види дерев, наприклад клен гостролистий або акація.

Література:

1. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття : виконавче резюме. Рада Європи; Стратегія, Софія, 23-25 жовтня 1995 р. URL : https://zakononline.ua/documents/show/174444__174509



2. Ворон В.П., Бондарук М.А., Коваль І.М.. Рекомендації щодо комплексної оцінки стійкості рекреаційно-оздоровчих лісів, організації їх антропогенно порушених лісів : зб. рекомендац. УкрНДІЛГА. Харків: Вид-во "Нове слово", 2011. С. 10-112.

3. Protopopova V.V., Shevera M.V., Mosyakin S.L. Deliberate and unintentional introduction of invasive weeds: A case study of the alien flora of Ukraine. Euphytica, 2006. Vol. 148. P. 17-33.

4. Тарасевич О.В., Орлов О.О. Трав'янисті адвентивні види рослин – загроза для лісовідновлення та лісових екосистем у Житомирському Поліссі. Науковий вісник НЛТУ України, 2013. Вип. 23.16. С. 81-92.

5. Гамуля Ю. Г. Рослини України / за ред. канд. біол. наук О. М. Утевської. Х.: Фактор, 2011. 208 с.

References.

1. Vseievropeiska stratehiia zberezhenia biologichnoho ta landshaftnoho riznomanittia: vykonavche reziume. Rada Yevropy(2005): Stratehiia, Sofiia. URL : https://zakononline.ua/documents/show/174444__174509

2. Voron V.P., Bondaruk M.A., Koval I.M. (2011) Rekomendatsii shchodo kompleksnoi otsinky stiikosti rekreatsiino-ozdorovchykh lisiv, orhanizatsii yikh antropohenno porushenykh lisiv : zb. rekomend.UkrNDILHA. Kharkiv: Vyd-vo "Nove slovo". P. 10-112.

3. Protopopova V.V., Shevera M.V., Mosyakin S.L. Deliberate and unintentional introduction of invasive weeds: A case study of the alien flora of Ukraine. Euphytica, 2006. Vol. 148. P. 17-33.

4. Tarasevych O.V. (2012) Rozpovsiudzhennia adventyvnykh vydiv travianykh roslyn na Polissi ta mozhlyva zahroza dlia lisovoho hospodarstva. Lisivnytstvo ta ahrolisomeliioratsiia. Vyp. 121. P. 88-94.

5. Hamulia Yu. H. Roslyny Ukrainy / za red. kand. biol. nauk O. M. Utievskoi. X.: Faktor, 2011. 208 s.

Abstract. The study analyzed perennial plant species, including two maple species and Lombardy poplar, in shelterbelts in eastern Ukraine that suffered from human impacts and military actions. The study's results assessed changes in species and age composition and identified potential for rapid restoration of shelterbelts as a protective component of agricultural erosion processes. Norway maple was shown to be the best species for shelterbelt impacts, having proven itself to be effective both under normal anthropogenic loads and in conditions of full-scale military actions, ground and crown fires. In the absence of aggressive invasive herbaceous plants, such as ragweed, tree restoration in shelterbelts takes 5 to 10 years, depending on the severity of impact. The selected species' main ecological characteristics, advantages, and disadvantages are presented.

Key words: monitoring, forest belts, perennial woody plants, maple (*Acer*), pyramidal poplar (*Populus pyramidalis* L.), ecology, environmental protection, impact of military operations.

Статтю надіслано: 19.09.2025 г.

© Бабенко В.М.



УДК 504.05:355/359(477)

IMPACT OF THE MILITARY ACTIONS IN UKRAINE ON THE ECOSYSTEM OF UKRAINE

ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ НА ЕКОСИСТЕМУ УКРАЇНИ

Oreshkov V.I. / Орешков В.І.*c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9796-0216

Hynda V.V. / Гинда В.В.*lecturer / викладач*

ORCID: 0009-0005-9676-8173

Buheda L.K. / Бугеда Л.К.*senior lecturer / викладач*

ORCID: 0009-0009-3300-9275

*State University of Intelligent Technologies and Telecommunications,
Odesa, Kuznechna, 1, 65023**Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку,
Одеса, Кузнечна, 1, 65023*

Анотація. У статті розглянуто екологічні наслідки повномасштабної війни, розв'язаної Російською Федерацією проти України. Особливу увагу приділено масштабному застосуванню ракетних озброєнь та їхньому впливу на атмосферне повітря, ґрунт та водні ресурси. Визначено основні хімічні сполуки, що утворюються під час вибухів та горіння ракетного палива, серед яких – чадний газ, діоксиди азоту, свинець та інші токсичні речовини. Окреслено масштаби техногенного навантаження на екосистеми внаслідок обстрілів промислових об'єктів та критичної інфраструктури. Наведено результати моніторингу якості атмосферного повітря в Дніпропетровській, Запорізькій та Харківській областях, які підтверджують негативні зміни в екологічному стані регіонів. Проаналізовано основні чинники екологічних змін, спричинених війною: руйнування ґрунтового покриву, забруднення атмосферного повітря викидами від вибухів та пожеж, хімічне забруднення водних ресурсів, знищення лісових масивів і природних заповідних територій..

Ключові слова: Бойові дії, екологія, довкілля, забруднення, екологічні наслідки, ракетні обстріли, атмосферне повітря, токсичні речовини, моніторинг якості повітря, техногенна катастрофа.

З 2014 року продовжується кривава та руйнівна війна жорстокого агресора проти України. З 24 лютого 2022 року розпочався новий етап цієї війни. РФ почала повномасштабний наступ на всіх кордонах країни. Миттєво були зруйновані мрії та життя людей. Також створено серйозну загрозу навколишньому середовищу [1].

Активних бойових дій зазнали території Житомирської, Сумської, Луганської, Донецької, Херсонської, Миколаївської, Чернігівської, Київської, Запорізької, Харківської областей.



Одними із найважчих наслідків для екосистем є хімічне забруднення місць масового застосування боєприпасів. Також значної шкоди екосистемі завдають катастрофи після обстрілів підприємств та об'єктів критичної інфраструктури нашої держави. Причому Росія активно застосовує ракети і цим створює техногенні катастрофи по всій території України [2, 3].

За даними командування ЗСУ, тільки за період з 24 по 28 лютого 2022 року агресор випустив 113 ракет типу “Іскандер” та “Калібр” по містах і селах України. Зокрема, з 10 по 20 жовтня загарбники випустили 154 ракети, що більше, ніж на початку війни [4].

А загалом по Україні росіяни відпрацювали арсеналом до 5 тис. ракет.

“Основним типом ракетного озброєння, що застосовували росіяни протягом останнього періоду, стали крилаті ракети повітряного базування. При цьому за попередній період застосування цих ракет взагалі не відмічалось. Кількість застосованих ракет – 83 одиниці – перевищила кількість ракет цих типів, застосованих впродовж чотирьох місяців – червня, липня, серпня та вересня. В той період було застосовано лише 43 ракети», – повідомив 20 жовтня на брифінгу заступник начальника головного оперативного управління Генштабу ЗСУ Олексій Громов.

Майже третину – 29% – від застосованих ракет склали крилаті ракети морського базування типу “Калібр”, які також не застосовувались протягом попереднього періоду

Також противник збільшив інтенсивність використання крилатих ракет наземного базування. Щодня відбуваються обстріли прифронтових міст і селищ модифікованими зенітними ракетами із зенітних установок С300.

У Генштабі закликають українців не нехтувати правилами безпеки, адже навіть знищена ракета чи дрон можуть нести смертельну небезпеку.

Окрім наслідків від влучання, ракета сама по собі створює негативний ефект для довкілля. Будь-яка ракета містить пальне, вибухівку та детонатор. Навіть у випадку знищення відбувається хімічне забруднення атмосфери хімічними сполуками цих компонентів.



Так, зенітні ракети, що масово застосовуються РФ для обстрілу території України з комплексів С300, представляють собою двоступінчасту твердопаливну ракету з газодинамічними органами управління першої ступені. Різниця у конструкціях ракет різних модифікацій в основному пов'язана з більшим запасом палива у першій ступені, що збільшує дальність їх дії або швидкість польоту. Такі зенітні ракети обладнані осколково-фугасною бойовою частиною масою біля 150 кг. У головній частині розміщені блоки бортової апаратури, які керують наведенням та спрацюванням ракети.

У сучасних твердопаливних двигунах частіше всього застосовують суміш перхлорату амонію з алюмінієм, каучуками та іншими присадками.

Спалювання або утилізація підривом баліститу – твердого ракетного палива на основі нітрату целюлози та нітроефірних розчинників, що часто застосовується у ракетних двигунах військового призначення, супроводжується утворенням ряду токсичних компонентів (залежно від виду палива, що застосовується у конкретній ракеті): CO до 416,2 г/кг; C до 86,4 г/кг; Pb до 6,7 г/кг; PbO до 1,8 г/кг; NO до 161,6 г/кг; NO₂ до 2,9 г/кг; CH₄ до 55,0 мг/кг; NH₃ до 0,3 г/кг; HNO₂ до 0,4 г/кг; HCN до 5,2 г/кг.

До цієї суміші додається суміш продуктів підриву ініціюючих вибухових речовин (які застосовуються для підриву основної вибухової речовини у ракеті) та самої вибухової речовини бойової частини ракети. Також токсичними є продукти горіння електроніки, якою обладнані ракети.

У реальних умовах продукти вибуху ракети та її палива можуть взаємодіяти між собою, з ґрунтовими водами, з вологою повітря та киснем. Тому кінцевий хімічний склад продуктів спрацювання ракети буде завжди різним, в залежності від умов, у яких відбувся вибух.

Пожежі та вибухи – це кожного разу окрема екологічна катастрофа.

Оцінка екологічних наслідків ускладнюється військовою таємницею щодо фактичного складу компонентів, та браку інформації про сполуки та речовини, які утворюються під час вибуху та горіння ракети. Наслідки від їх горіння та вибуху для довкілля практично невідомі.



Впевнено можна говорити про помітні негативні наслідки для атмосфери та довкілля від масового використання ракетного озброєння, проте для подальшого систематичного дослідження феномену впливу важливим є фіксація кількості випадків використання такого зняряддя.

Звіт щодо стану атмосферного повітря у Дніпропетровській, Запорізькій та Харківській областях з 12.02 2024 по 18.02.2024.

По Дніпропетровській області впродовж грудня аналізувалися дані 24 станцій моніторингу EcoCity, які представлено на рисунку 1 та розташовані у різних місцях регіону [5]:

- м. Дніпро – 5 станцій (1 з них виключена з аналізу через недостатню кількість даних);
- м. Кривий Ріг – 5 станцій (1 з них виключена з аналізу через недостатню кількість даних);
- м. Нікополь – 3 станції;
- м. Марганець, м. Підгородне, смт Демурино, смт. Солоне, с. Свистунове, с. Мар'янське, ПЗ “Дніпропетровсько-Орільський” – по 1 станції.

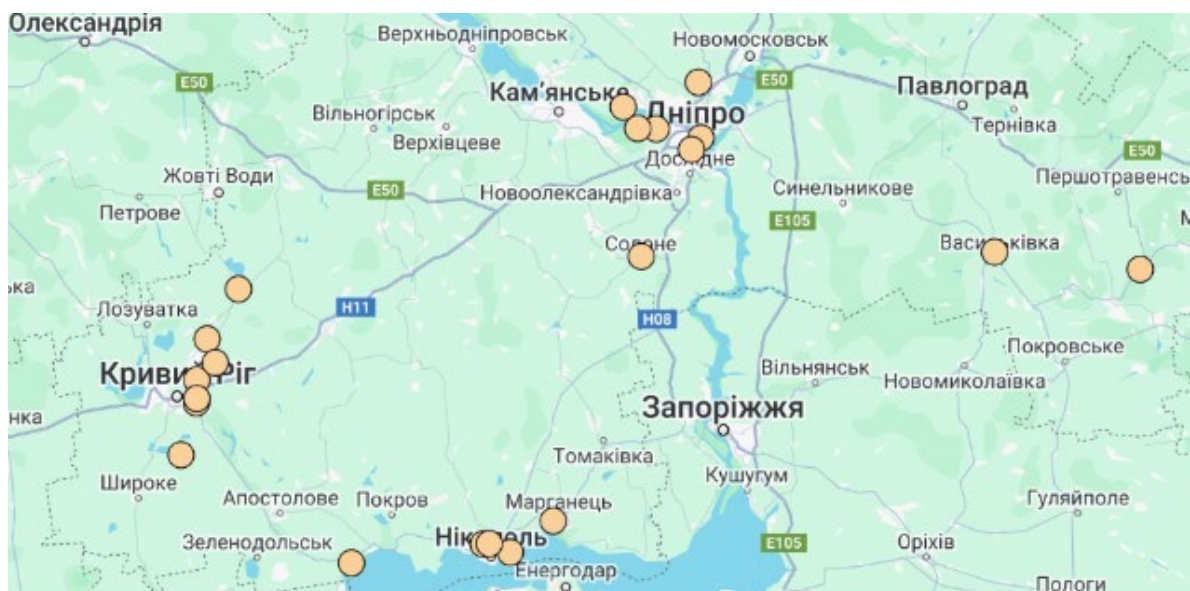


Рисунок 1 – Мапа Дніпропетровської області з усіма станціями моніторингу, які були взяті для аналізу [5]

Для більшого розуміння на рисунку 2 представлена мапа зі станціями розфарбованими по рівню забруднення:



- зелений – добра та задовільна якість повітря становить < 5%;
- жовтий – відсоток часу за тиждень коли категорія якості повітря на 3 та гірше становить 5% - 10%;
- помаранчевий – 10% - 50%; бордовий - > 50% часу за місяць;
- сірий – недостатньо даних.

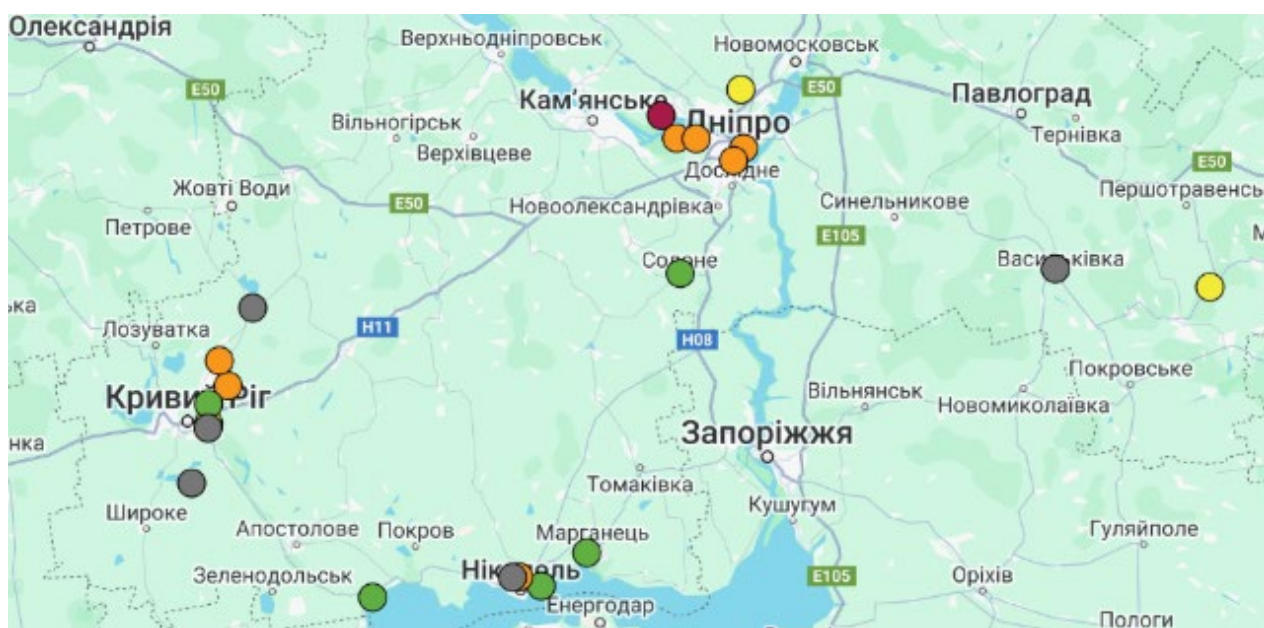


Рисунок 2 – Мапа Дніпропетровської області зі станціями розфарбованими по рівню забруднення [5]

У січні 2024 року найгірша ситуація спостерігалась на території природного заповідника “Дніпровсько-Орільський”

На всіх станціях за місяць показник гамма радіація коливався в межах 5,5 – 16,6 мкР/год, що відповідає природному фону та не становить загрози. Допустиме значення рівня радіаційного фону згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) – 30 мкР/год [6].

З усіх станцій які досліджувались були відібрані станції на яких спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI (категорії якості повітря III – VI). На рисунку 3 представлено графік, на якому відображено % часу за місяць, коли на станціях спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI, а також, показники які найбільше вплинули на якість повітря (беруться показники, кількість значень категорії індексу III та гірше яких



>50%, якщо такого немає – декілька речовин, але не більше 3-х, які загалом складають > 70% від загальної кількості значень).

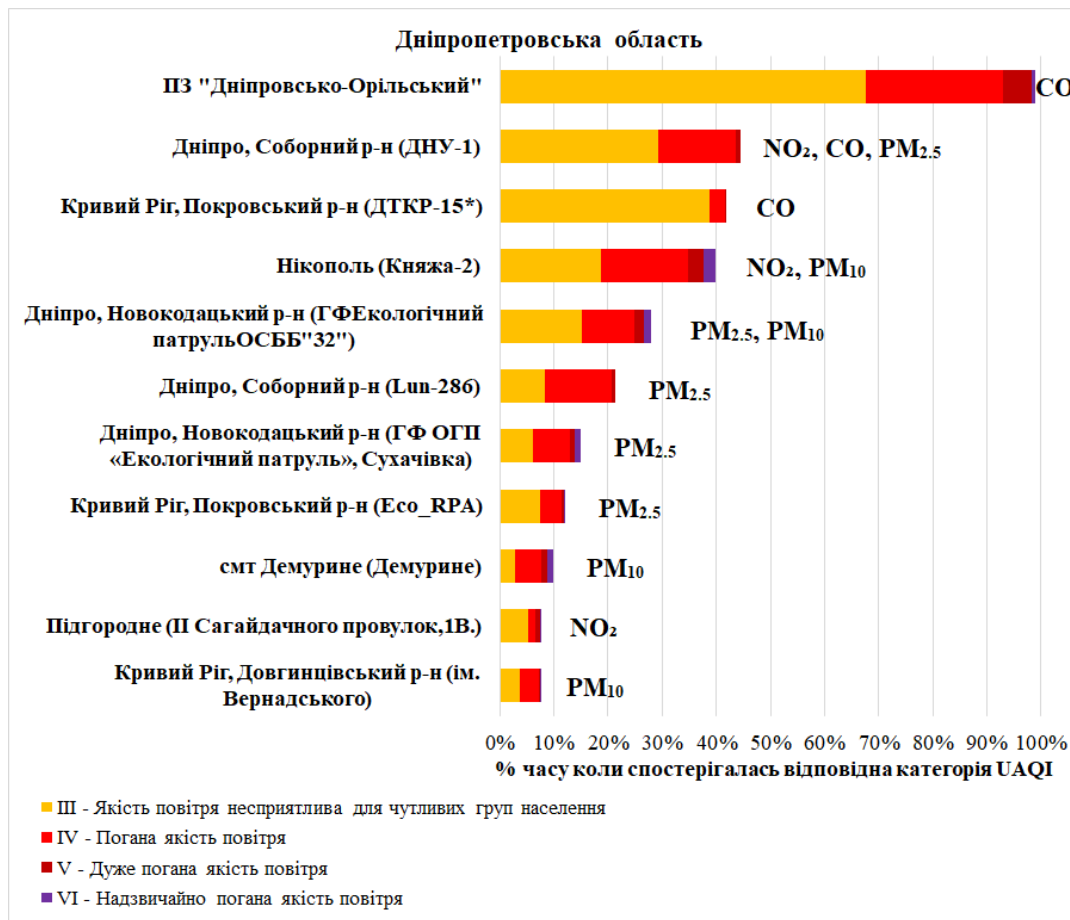


Рисунок 3 – Станції розташовані в Дніпропетровській області на яких % часу коли спостерігалась несприятлива та погана якість повітря становила 5–100% [5]

По Дніпропетровській області станції моніторингу у січні фіксували наступні шкідливі речовини, які найбільше впливали на якість атмосферного повітря [6]:

- дрібнодисперсний пил (PM_{2.5} та PM₁₀) у Кривому Розі, Дніпрі, Нікополі;
- діоксид азоту (NO₂) у Нікополі, Дніпрі та Підгородному;
- оксид вуглецю (CO) – у Кривому Розі, Дніпрі та на території Природного заповідника “Дніпровсько-Орільський”.



Стосовно повітря Запорізької області

В період з 01.01.2024 по 31.01.2024 взяті до аналізу 10 станцій моніторингу по Запорізькій області:

м. Запоріжжя – 9 станцій (з яких 3 станції з недостатньою кількістю даних для подальшого аналізу);

смт Малокатеринівка – 1 станція;

смт Балабине – 1 станція, яка виключена з аналізу через недостатню кількість даних.

На рисунку 4 представлені мапи зі станціями моніторингу за якими робився звіт та які розфарбованими по рівню забруднення

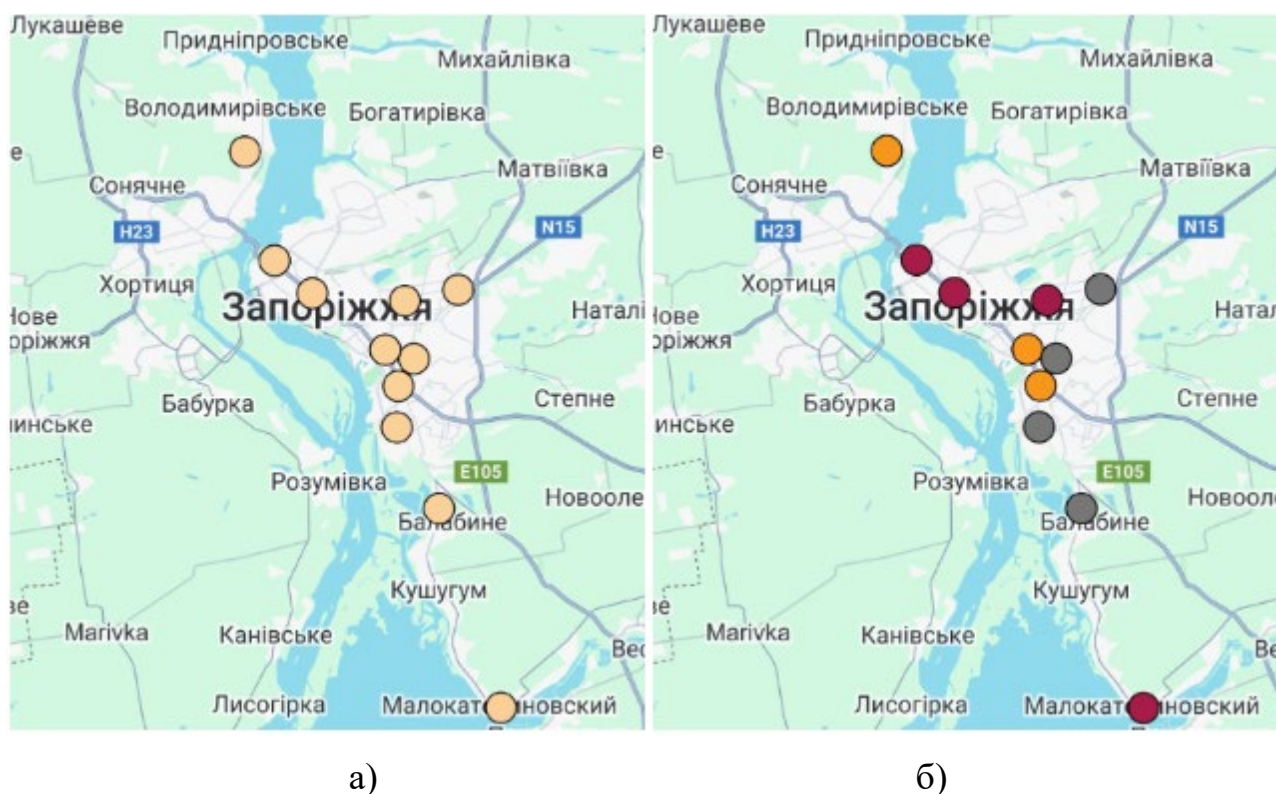


Рисунок 4 – Мапа Запорізької області з усіма станціями моніторингу за якими робився звіт (а), мапа зі станціями розфарбованими по рівню забруднення (б) [5]

На всіх станціях за січень 2024 року показник гамма радіації (потужності експозиційної дози гамма-випромінювання) коливався в межах 5,6 – 15,7 мкР/год (uR/h), що відповідає природному фону та не становить



загрози. Допустиме значення рівня радіаційного фону згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) – 30 мкР/год [6].

З усіх станцій які досліджувались були відібрані станції на яких спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI (категорії якості повітря III – VI). На рисунку 5 представлено графік на якому відображено % часу за місяць коли на станціях спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI, а також, показники які найбільше вплинули на якість повітря (беруться показники, кількість значень категорії індексу III та гірше яких >50%, якщо такого немає – декілька речовин, але не більше 3-х, які загалом складають > 70% від загальної кількості значень).

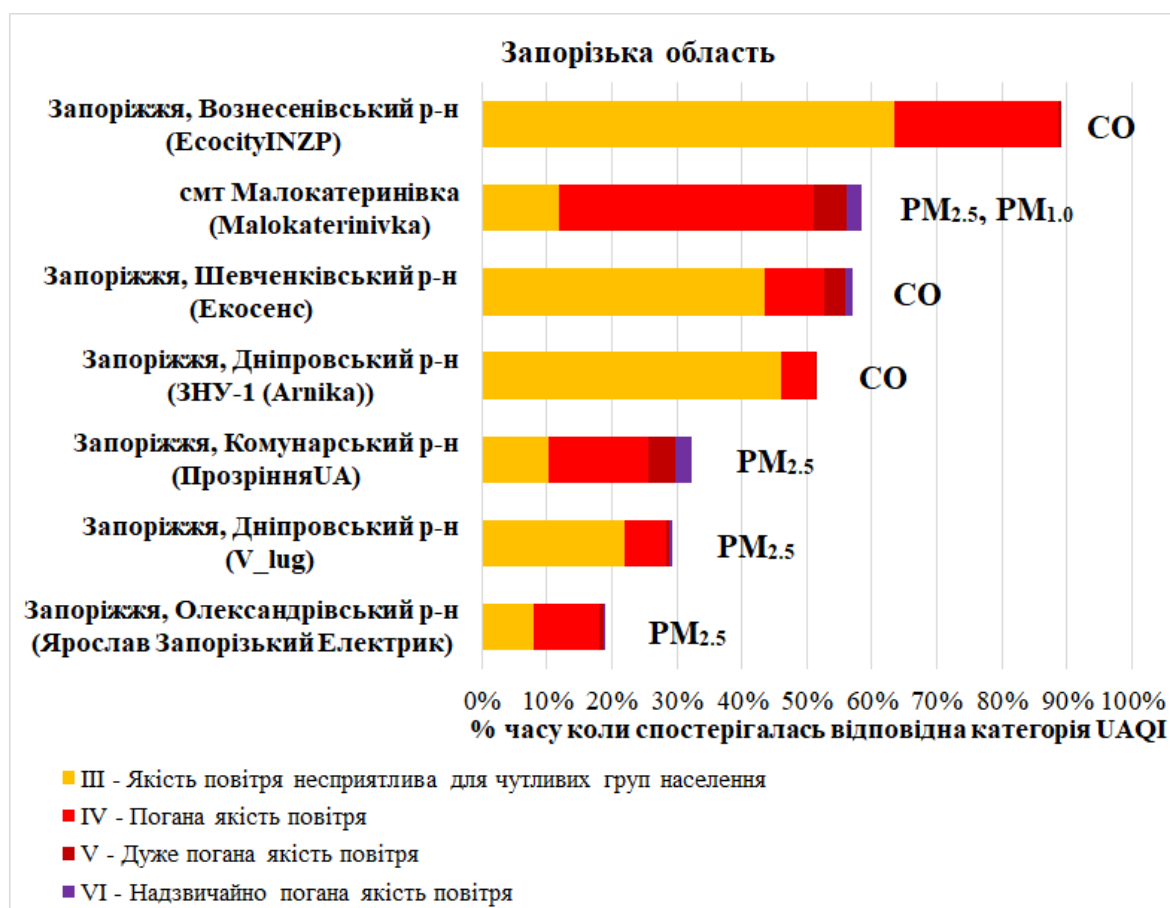


Рисунок 5 – Станції, що розташовані в Запорізькій області на яких % часу коли спостерігалась несприятлива та погана якість повітря [5]

У січні 2025 року станції моніторингу повітря EcoCity зафіксували наступні забруднювачі [5]:

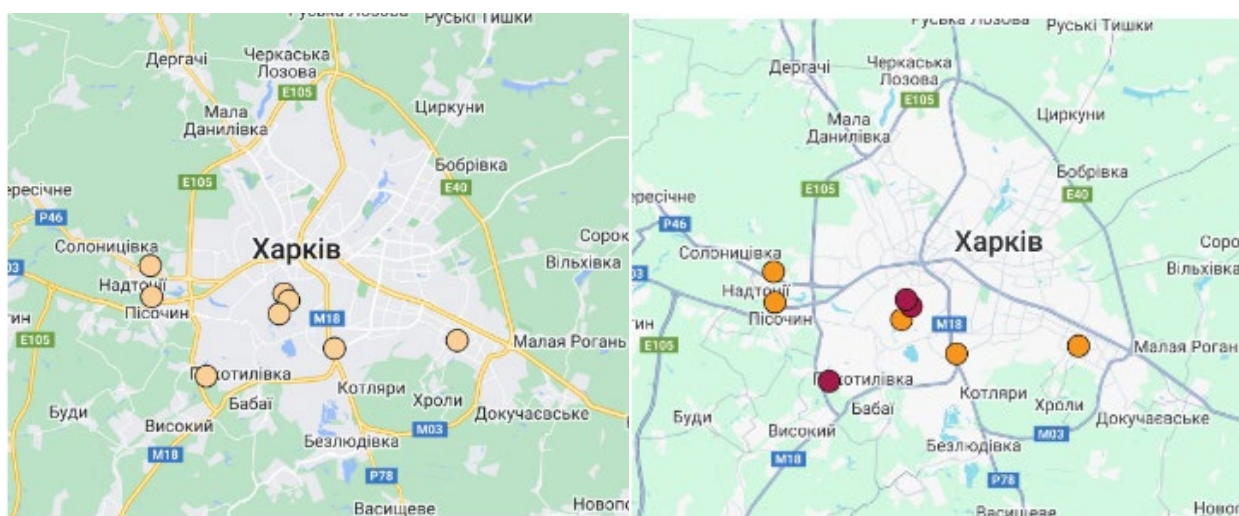


- ✓ дрібнодисперсний пил (PM_{2.5} та PM₁₀, PM_{1.0}) – у Малокатеринівці та Запоріжжі;
- ✓ оксид вуглецю (CO) – у Запоріжжі.

Стосовно повітря по Харківщині

У січні 2025 року було проаналізовано роботу 8 станцій: у м. Харків – 6 станцій; смт Пісочин та с. Подвірки – по 1 станції.

На рисунку 6 представлені мапи зі станціями моніторингу за якими робився звіт та які розфарбованими по рівню забруднення



а)

б)

Рисунок 6 - Мапа Харківської області з усіма станціями моніторингу за якими робився звіт (а), мапа зі станціями розфарбованими по рівню забруднення (б) [5]

На всіх станціях за січень показник гамма радіації (потужності експозиційної дози гамма-випромінювання) коливався в межах 6,1 – 12,6 мкР/год(uR/h), що відповідає природному фону та не становить загрози. Допустиме значення рівня радіаційного фону згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) – 30 мкР/год [6].

З усіх станцій які досліджувались були відібрані станції на яких спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI (категорії якості повітря III – VI). На рисунку 7 приведено графік на якому відображено %



часу за місяць коли на станціях спостерігалась несприятлива та погана якість повітря згідно UAQI, а також, показники які найбільше вплинули на якість повітря (беруться показники, кількість значень категорії індексу III та гірше яких >50%, якщо такого немає – декілька речовин, але не більше 3-х, які загалом складають > 70% від загальної кількості значень).

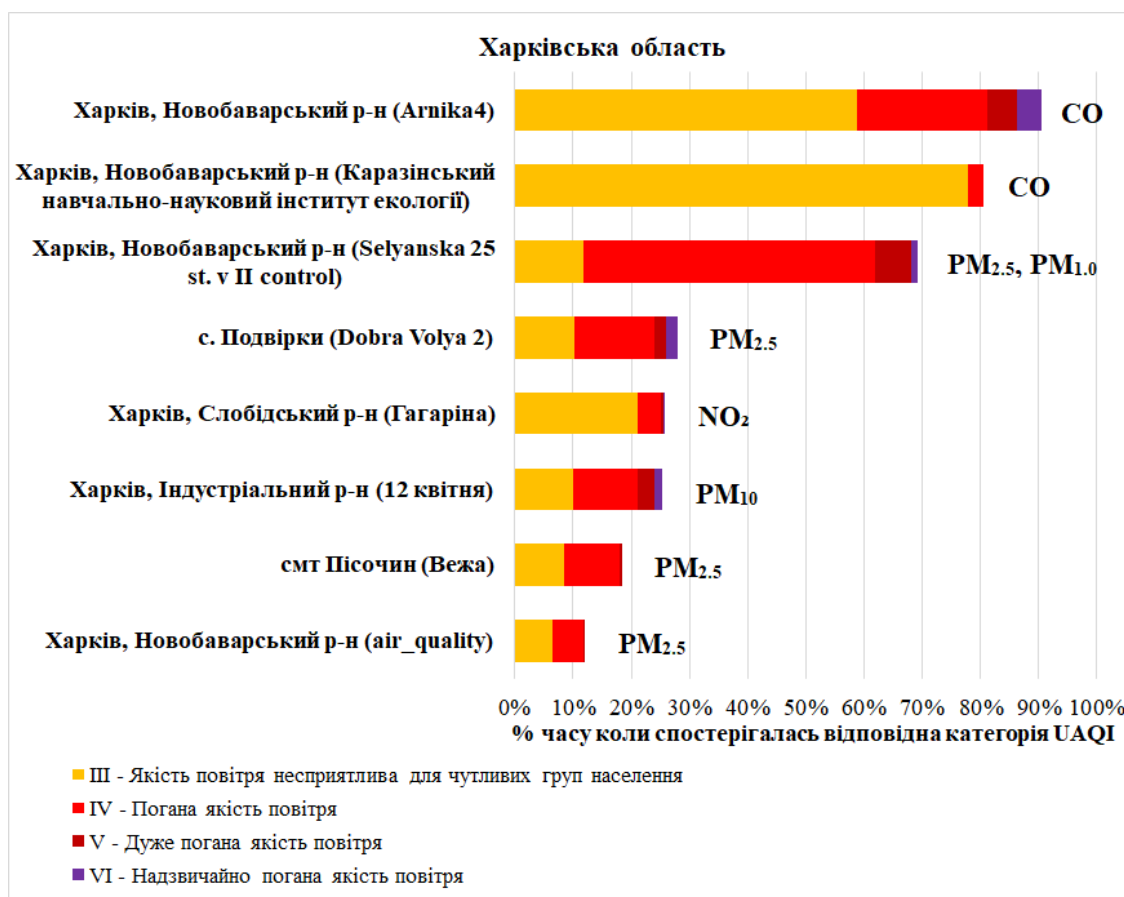


Рисунок 7 - Станції, що розташовані в Харківській області на яких % часу коли спостерігалась несприятлива та погана якість повітря [5]

В січні 2024 року з 8 станцій моніторингу, які потрапили у місячний звіт, зафіксували наступні забруднювачі по Харківщині:

- ❖ дрібнодисперсний пил (PM_{2.5} та PM₁₀, PM_{1.0}) – у Харкові, смт Пісочин, с. Подвірки;
- ❖ діоксид азоту (NO₂) та оксид вуглецю (CO) у Харкові.

Висновки.

1. Війна в Україні завдала значних екологічних збитків, що мають довготривалий та кумулятивний характер.



2. Масове використання ракет різних типів призводить до хімічного забруднення довкілля токсичними сполуками, небезпечними як для екосистем, так і для здоров'я людини.

3. Аналіз даних моніторингу атмосферного повітря свідчить про перевищення вмісту шкідливих речовин (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO), особливо у промислових регіонах та зонах активних бойових дій.

4. Навіть у випадках, коли рівень гамма-випромінювання відповідає природному фону, якість повітря у низці регіонів класифікується як несприятлива чи погана, що підтверджує масштаб негативного впливу війни на екологію.

5. Подальші дослідження мають бути спрямовані на систематичний збір даних та оцінку довгострокових наслідків хімічного та техногенного забруднення.

Література:

1. BBC News Україна. Новини про війну в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64281161>.
2. United Nations Environment Programme (UNEP). Environmental impacts of the war in Ukraine: preliminary assessment. Nairobi, 2022.
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічні наслідки війни в Україні. – Київ, 2023.
4. Генеральний штаб Збройних Сил України. Брифінги та офіційні повідомлення (2022–2024 рр.).
5. EcoCity. Система моніторингу якості повітря в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eco-city.org.ua>.
6. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ, 1998.

Abstract. The article examines the environmental consequences of the full-scale war launched by the Russian Federation against Ukraine. Particular attention is paid to the massive use of missile weapons and their impact on air, soil, and water resources. The main chemical compounds produced during explosions and rocket fuel combustion, such as carbon monoxide, nitrogen oxides, and lead, are identified. The study highlights the scale of technogenic pressure on ecosystems due to shelling of industrial facilities and critical infrastructure. Monitoring data on air quality in the



Dnipropetrovsk, Zaporizhzhia, and Kharkiv regions confirm significant deterioration in environmental conditions caused by military actions.

Key words: *military actions, ecology, environment, pollution, biodiversity, environmental consequences, missile attacks, atmospheric air, toxic substances, air quality monito, technogenic disaster.*

Статтю надіслано: 25.09.2025 р.

© Орєшков В.І.



УДК 628.1

PROBLEMS OF NATURAL WATERS IN UKRAINE AND WAYS TO THEIR SOLUTION

ПРОБЛЕМИ ПРИРОДНИХ ВОД В УКРАЇНІ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Arkhyrova V.V. / Архипова В.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9722-5622

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, S. Efremova, 25, 49009**Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, С. Єфремова, 25, 49009**Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Lazariana, 2, 49010**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49010***Volkova V.E / Волкова В.Є.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-1883-1385

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, S. Efremova, 25, 49009**Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, С. Єфремова, 25, 49009***Hruzdieva O.V. / Груздєва О.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-6928-7092

*Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Lazariana, 2, 49010**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49010*

Анотація. В роботі проаналізовано водоспоживання та водовідведення в Україні, забір води з природних джерел, використання оборотного водоспоживання, втрати при транспортуванні, скидання стічних вод та їх склад. Визначено нерівномірність водозабезпечення між областями країни, дефіцит у центральних, східних та південних областях. Відзначено тенденцію до зниження загального водоспоживання, причиною якої виступає як скорочення населення, так і скорочення промислового виробництва в країні. Незважаючи на підвищення ролі оборотного використання води, загальний його об'єм зменшилися, що корелює зі спадом промисловості. Подібною ж причиною пояснюється і деяке зниження викидів хімічних сполук разом зі стічними водами. Означено, що до основних проблем, що вимагають вирішення, відносяться значні втрати води при транспортуванні через зношеність мереж, скидання недостатньо очищених стічних вод у поверхневі водойми. Також виявлено, що основними забруднювачами стічних вод є фосфати, нітрати, хлориди, важкі метали. Для вирішення існуючих проблем необхідно розробити комплексну стратегію управління водними ресурсами. Сюди відноситься модернізація водопровідних та очисних мереж, що зменшить втрати прісної вод при транспортуванні та вторинне забруднення, стимулювання впровадження замкнених циклів водоспоживання, використання новітніх ресурсоемких та маловідходних технологій, застосування нових методів очищення стічних вод, посилення обізнаності населення щодо раціонального використання водних ресурсів та збільшення державного контролю за дотриманням законодавства у сфері водних ресурсів

Ключові слова: довкілля, водоспоживання, оборотне водопостачання, стічні води, очищення води

Вступ.

Вода є одним з найважливіших компонентів довкілля, без якого неможливе було б існування життя на планеті. Вона забезпечує проходження всіх хімічних



та біохімічних реакцій, які проходять у навколишньому середовищі та живих організмах, є універсальним розчинником для різноманітних сполук у навколишньому середовищі. Вода займає 60 – 70% маси живих організмів, від найменших мікроорганізмів до людини [1], забезпечує ефективну терморегуляцію, підтримуючи нормальну температуру тіла і захищаючи від перегріву та переохолодження. Також вона доставляє корисні речовини у клітини організмів та виводить непотрібні. Вода забезпечує здоров'я живих організмів [2–5]. Вода є середовищем існування рослин, мікроорганізмів та всіх істот, що проживають в екосистемах, сприяючи підтримці біорізноманіття, що є основою стійкого існування життя на планеті. Волога у повітрі впливає на температуру навколишнього середовища, клімат і погоду, допомагає перерозподіляти тепло на планеті [6–7]. Вода у океанах допомагає зберігати тепло і зменшує коливання температур між днем та ніччю, між літом та зимою. Вода проходить через кругообіг, випаровуючись з поверхні океану, сприяючи потраплянню прісної води на поверхню суші [8–11]. Вода, проходячи через ґрунти у навколишньому середовищі, розчиняє і уносить неорганічні та органічні речовини [12], наприклад, гіпс, доломіт, вапняки, сполуки заліза, марганця, азоту [13] та фосфору тощо [14]. З атмосфери у воду потрапляють також кисень та вуглекислий газ. Тому природні води містять багато розчинених компонентів, що формують їх фізико-хімічні властивості [15]. Не менше значення вода має для різних галузей промисловості, виробництва та економіки в цілому [16]. Вода використовується як реагент або складова продукції харчової та хімічної промисловості [17]. Також вона відіграє важливу роль у технологічних процесах, забезпечуючи охолодження або нагрів устаткування, є робочим середовищем турбін та теплообмінників. Вода необхідна для збагачення корисних копалин [18–19]. Без води неможливе існування сільського господарства: полив рослин, напування тварин та підтримка санітарних умов [20–23]. Крім того, водні ресурси є джерелом отримання електроенергії для гідроелектростанцій. Велика кількість води потрібна у побуті для миття, прання та санітарно-гігієнічних потреб. Річки і моря виступають як водні маршрути для

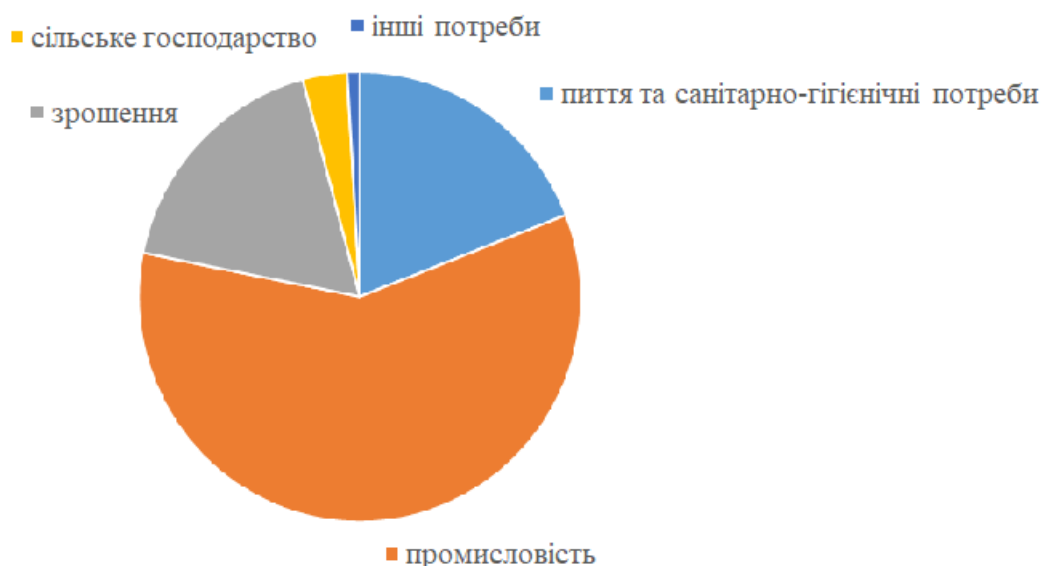


перевезення вантажів та є місцями відпочинку. Таким чином, вода є незамінним ресурсом, що має не тільки екологічне, але й соціально-економічне значення. Проте не вся вода може бути використана для пиття і для промислових та сільськогосподарських потреб [24–27]. Наприклад, наявність великої кількості розчинених солей перешкоджає застосуванню її у охолодженні та нагріванні, оскільки це буде сприяти утворенню великої кількості нерозчинних солей, що будуть засмічувати теплообмінники шламом. А деякі компоненти, що можуть міститися у воді, унеможливають використання її у харчовій промисловості [26–27]. Вода не повинна містити збудників захворювань, бути прозорою, без запахів та сторонніх присмаків.

Метою дослідження було виявлення основних закономірностей та зв'язків між показниками водопостачання та водокористування в Україні, а також завдань, що потребують розв'язання, і можливостей їх вирішення.

Основний текст. Під час дослідження застосовано наступні методи: бібліографічний, порівняльно-описовий, моніторингу, аналізу, синтезу та узагальнення. Використані дані Державної служби статистики України щодо водоспоживання, водовідведення, скидання стічних вод та вмісту у них різних компонентів [28]. Аналіз проводився у розрізі окремих регіонів України для виявлення відмінностей по областях та зміни у часі протягом 2010–2022 років.

Більша частина прісної води в Україні йде на потреби промисловості (близько 59%), менші обсяги споживаються для поливу полів та інших потреб сільського господарства (20%), використовуються для пиття (20%) та іншого (1%) (рис. 1). Незважаючи на те, що країною протікають одні з найбільших річок Європи, такі як Дунай та Дніпро, Україна відноситься до країн недостатньо забезпечених водними ресурсами. Їх кількість становить близько 1,38 тис. м³ на одного жителя на рік. Крім того, розташовані водні ресурси також вкрай нерівномірно. Більший доступ до водних ресурсів мають жителі західних та північних регіонів, а у центральних, східних та південних вже відчувається її дефіцит. Так, водозабезпечення Закарпатської області перевищує Одеську 43,5 рази (рис. 2).

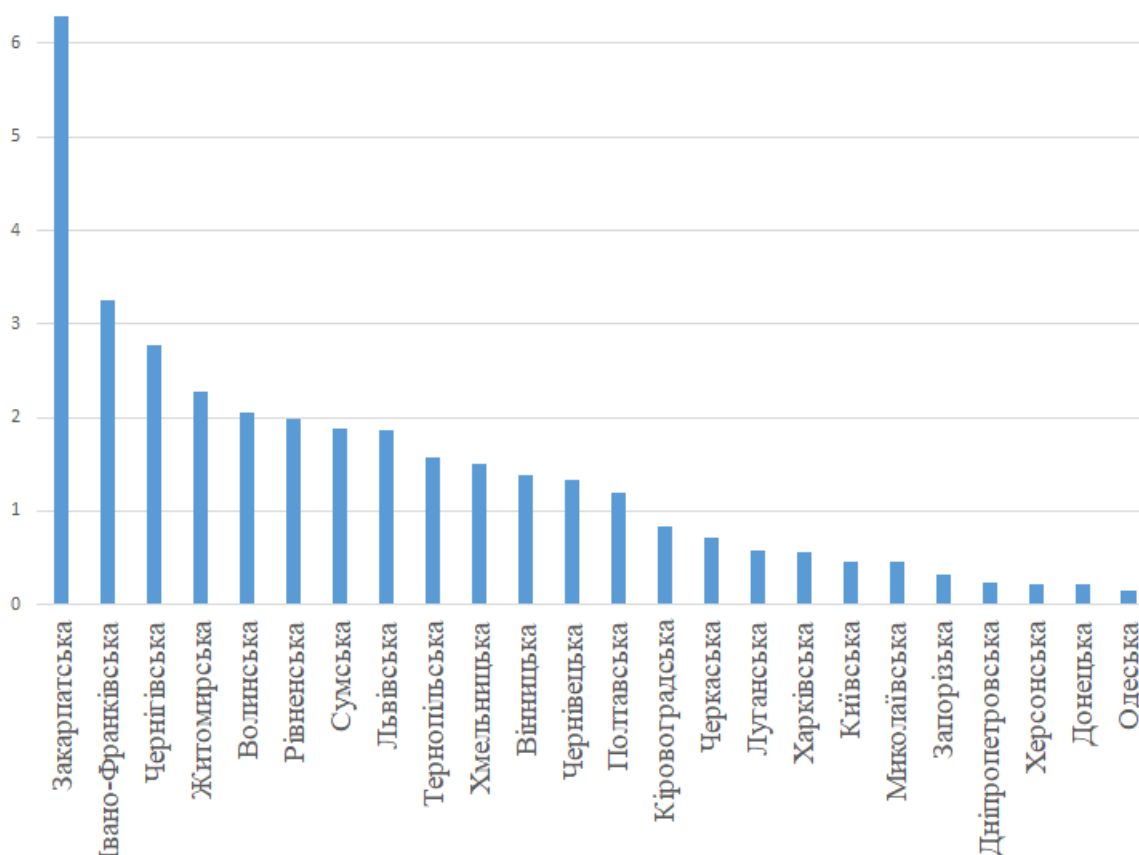


Авторська розробка

Рисунок 1 - Використання прісної води за галузями України (в середньому, за 2010-2022 роки)

Використання води змінюється в залежності від регіону та року. Найбільший обсяг використання такої води спостерігається для центральних і південних областей (Запорізька, Донецька, Дніпропетровська, Київська). Це пов'язано з, по перше, більшою щільністю населення в цих регіонах, а, по-друге, з зосередженням великих промислових підприємств в цих областях. Водоспоживання інших областей у 2–3 і більше разів менше вищеназваних.

За останні роки в усіх регіонах, крім Кіровоградської області, відмічається значне зниження водоспоживання в усіх регіонах. Наприклад, у Хмельницькій області воно знизилося у 1,26 разів, а в Полтавській – у 2,85 разів. Це можна пояснити наступними причинами. По-перше, в останні роки відбувається різке зниження обсягів виробництва, основою яких є застарілість їх технологій та обладнання, висока собівартість продукції та відсутність ринків збуту. Тому відбувається як поступова відмова від цих технологій, так і перехід до використання води у замкненому циклі. По-друге, зменшення кількості населення також впливає на скорочення водоспоживання, хоча, у порівнянні з промисловістю, воно має менший внесок у загальні зміни.



Авторська розробка

Рисунок 2 - Водозабезпечення областей України, тис. м³ на 1 жителя на рік

Відсутність зменшення водоспоживання у Кіровоградській області, ймовірно, пов'язане з використанням більшої частини води для сільського господарства, обсяги якого не зазнали такого значного скорочення. Також з аналізу виключено АР Крим, Херсонську, Луганську, Донецьку, Запорізьку області у 2022 році, оскільки вони частково або повністю були окуповані, тому оцінити їх водоспоживання складно.

Позитивним фактором для споживання води є використання оборотного водопостачання (таблиця 1), оскільки це дає можливість економити чисту воду з природних джерел. Проте в цій сфері спостерігаються значні відмінності між областями. Взагалі, з 2010 по 2021 роки відмічається тенденція по зниженню обсягів оборотних, що пов'язано з тенденцією зменшення кількості промислових підприємств. Особливо помітно це для Запорізької області – 4,912 разів, Луганської області – зниження у 3,956 разів, Волинської – 2,545 разів, Харківської – 2,0959 разів. Для деякої кількості (Львівська, Миколаївська,



Рівненська) областей обсяги оборотного водопостачання залишилися майже незмінними. А для декількох регіонів цей показник навіть зріс (Чернівецька – 4,333 рази, Вінницька 1,405 рази).

Таблиця 1 - Оборотне водоспоживання, млн. куб. м на рік

Область	Роки		Зниження, разів	Збільшення, разів
	2010	2021		
Вінницька	802	1127		1,405
Волинська	28	11	2,545	
Дніпропетровська	5662	4563	1,241	
Донецька	7143	3275	2,181	
Житомирська	223	122	1,827	
Закарпатська	8	10		1,25
Запорізька	9932	2022	4,912	
Івано-Франківська	1419	1777	1,252	
Київська	334	181	1,845	
Кіровоградська	121	151		1,247
Луганська	2437	616	3,956	
Львівська	311	355		1,142
Миколаївська	3557	3475	1,0236	
Одеська	163	110	1,481	
Полтавська	997	890	1,120	
Рівненська	3813	4328		1,135
Сумська	182	110	1,654	
Тернопільська	40	29	1,379	
Харківська	1618	772	2,0958	
Херсонська	50	25	2	
Хмельницька	2534	2671		1,054
Черкаська	720	485	1,484	
Чернівецька	6	26		4,333
Чернігівська	145	85	1,705	

Авторська розробка

Використання оборотного водоспоживання дає можливість зменшити забор води з природних джерел. Ця тенденція зберігається для усіх областей (таблиця 2), але масштаби відрізняються. Наприклад, у Чернівецькій області забір води зменшився в 1,25 разів, а в Одеській – в 2,18 разів.

Значною проблемою у водоспоживанні є значні втрати води при її транспортуванні. Ці обсяги значно різняться (таблиця 2). Так, у Херсонській області ці втрати в 2021 році становили 3,21% від обсягу води, забраної з природних джерел, а у Харківській у 2010 році цей показник становив вже майже 32%.



Таблиця 2 - Втрати води при транспортуванні та забір води з природних джерел, млн. куб. м на рік

Область	Втрати води при транспортуванні, млн. куб. м на рік		Забір води з природних джерел, млн. куб. м на рік		Зниження забору води з природних джерел, разів	Збільшення забору води з природних джерел, рази	Відсоток втрат води під час транспортування	
	Роки						Роки	
	2010	2021	2010	2021			2010	2021
Вінницька	13	14	125	94	1,33		10,4	14,89
Волинська	7	7	94	45	2,09		7,45	15,56
Дніпропетровська	196	106	1667	965	1,73		11,76	10,98
Донецька	310	243	2111	1539	1,37		14,68	15,79
Житомирська	14	11	203	96	2,11		6,9	11,46
Закарпатська	9	10	42	39	1,08		21,43	25,64
Запорізька	66	36	1132	996	1,14		5,83	3,61
Івано-Франківська	9	12	97	91	1,07		9,28	13,19
Київська	7	9	1036	525	1,97		0,68	1,71
Кіровоградська	12	8	123	201		1,63	9,76	3,98
Луганська	98	19	482	88	5,48		20,33	21,59
Львівська	56	38	250	176	1,42		22,4	21,59
Миколаївська	64	57	217	205	1,06		29,49	27,8
Одеська	114	53	2189	1003	2,18		5,21	5,28
Полтавська	19	14	243	114	2,13		7,82	12,28
Рівненська	5	7	191	117	1,63		2,62	5,98
Сумська	12	9	114	71	1,61		10,53	12,68
Тернопільська	7	4	73	40	1,83		9,59	10
Харківська	107	59	338	211	1,6		31,66	27,96
Херсонська	256	40	1103	1246		1,13	23,21	3,21
Хмельницька	13	10	164	111	1,48		7,93	9,01
Черкаська	12	10	286	156	1,83		4,2	6,41
Чернівецька	10	15	79	63	1,25		12,66	23,81
Чернігівська	10	4	157	102	1,54		6,37	3,92

Авторська розробка

Причинами втрат можуть бути як зношеність водопровідних мереж та обладнання, так і недостатній контроль і недбалість деяких водокористувачів.

Іншою вагомою проблемою є не тільки забір чистої прісної води з довкілля, а й скидання відпрацьованих та стічних вод у поверхневі природні водойми. Навіть при наявності зворотного водопостачання, через деякий час її якість значно погіршується, оскільки неможливо повністю очистити воду від домішок, (шлам, солі жорсткості тощо). Тоді частина таких вод скидається, а скинутий об'єм замінюється новим.



Стічні води перед потраплянням у навколишнє середовище, повинні бути очищені. Проте, повне очищення є економічно не вигідним, оскільки його вартість його зростає у геометричній прогресії. Тому такі води очищують тільки до певного ступеню.

Додатково недбалість окремих користувачів води призводить до скидання менш очищених або неочищених вод (таблиця 3).

Таблиця 3 - Скидання стічних вод у поверхневі води

Область	Скидання стічних вод у поверхневі води, млн. куб. м на рік		Скидання забруднених стічних вод у поверхневі води, млн. куб. м на рік		Скидання неочищених забруднених стічних вод у поверхневі води, млн. куб. м на рік		Відсоток забруднених стічних вод, що скидаються у поверхневі води, у порівнянні зі стічними водами, що скидаються у поверхневі води		Відсоток скидів неочищених забруднених стічних вод у поверхневі води відносно скидів стічних вод у поверхневі води	
	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021
Вінницька	69	52	2	1	-	0	2,9	1,92	-	0
Волинська	46	30	4	1	1	1	8,7	3,33	2,17	3,33
Дніпропетровська	1176	600	504	120	133	42	42,86	20	11,31	7
Донецька	1503	890	550	90	17	0	36,59	10,11	1,13	0
Житомирська	151	63	6	2	0	0	3,97	3,17	0	0
Закарпатська	41	40	8	4	1	0	19,51	10	2,44	0
Запорізька	838	742	73	7	4	0	8,71	0,94	0,48	0
Івано-Франківська	91	61	15	1	0	0	16,48	1,64	0	0
Київська	810	468	14	1	0	0	1,73	0,21	0	0
Кіровоградська	41	33	24	16	0	0	58,54	48,48	0	0
Луганська	321	40	96	21	26	0	29,91	52,5	8,1	0
Львівська	230	150	59	120	2	1	25,65	80	0,87	0,67
Миколаївська	88	72	29	20	-	1	32,95	27,78	-	1,39
Одеська	292	145	145	32	56	27	49,66	22,07	19,18	18,62
Полтавська	183	73	5	25	-	22	2,73	34,25	-	30,14
Рівненська	110	57	10	8	1	1	9,09	14,04	0,91	1,75
Сумська	57	34	20	19	0	0	35,09	55,88	0	0
Тернопільська	62	31	2	2	1	1	3,23	6,45	1,61	3,23
Харківська	298	239	14	5	7	1	4,7	2,09	2,35	0,42
Херсонська	78	48	2	9	2	6	2,56	18,75	2,56	12,5
Хмельницька	50	48	2	1	0	0	4	2,08	0	0
Черкаська	207	82	11	4	4	0	5,31	4,88	1,93	0
Чернівецька	50	38	7	2	5	1	14	5,26	10	2,63
Чернігівська	119	68	19	15	-	0	15,97	22,06	-	0

Авторська розробка

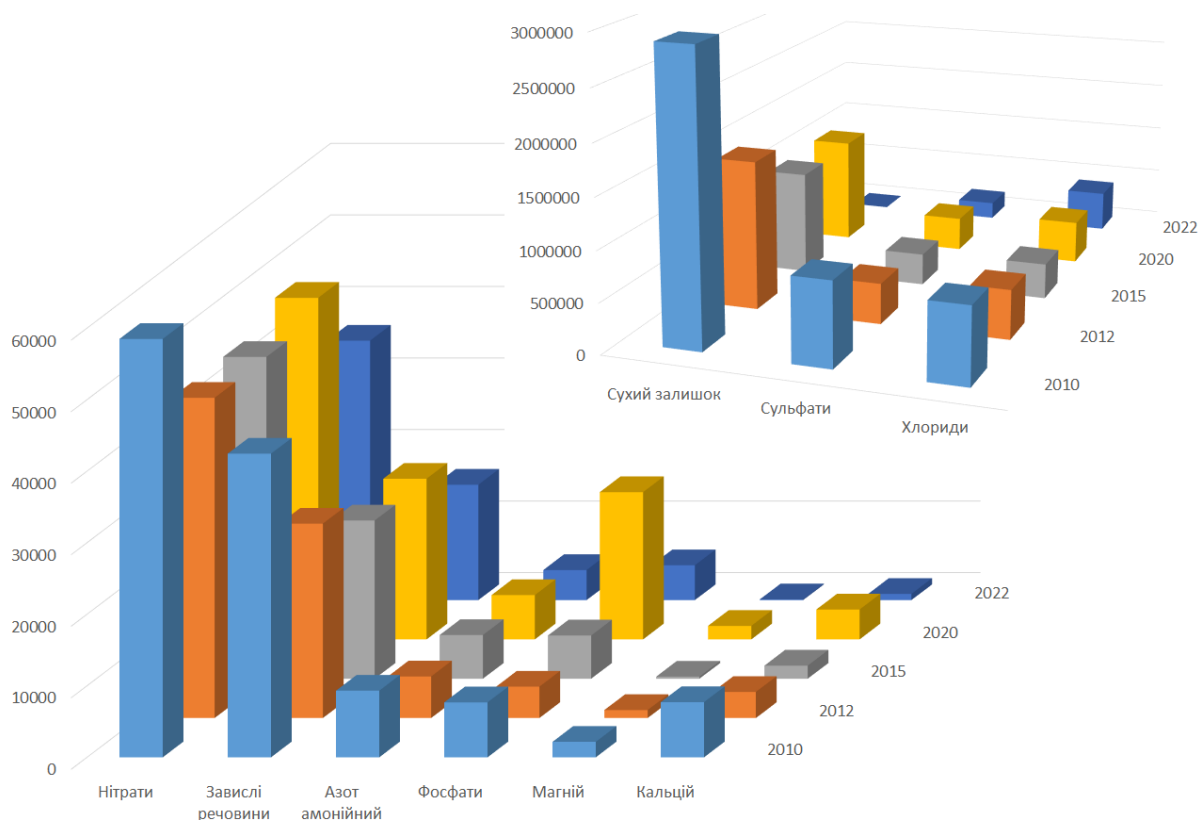


Кількість забруднених (недостатньо очищених) вод лежить у значному діапазоні значень – від 1,92% у Вінницькій області до 55% у Сумській – по відношенню до загального обсягу скинутих у поверхневі води.

А кількість повністю неочищених вод, відповідно до статистичних даних, у переважній кількості областей (крім Дніпропетровської і Одеської, Полтавської і Херсонської) у більшості випадків є низьким (таблиця 3).

Стічні води можуть містити велику кількість різноманітних катіонів та аніонів, які потрапляють разом із стічними водами металургійної, хімічної промисловості, з сільськогосподарських полів, побутовими стоками.

Найбільшу концентрацію в них досягають фосфати, нітрати, завислі речовини, нерозчинні неорганічні речовини (сухий залишок), сульфати, хлориди, іони амонію, іони магнію та кальцію (рисунок 3).



Авторська розробка

Рисунок 3 - Забруднюючі речовини, що потрапляють у довкілля разом зі стічними водами, т/рік



Серед інших іонів, що мають у десятки разів менший вміст, але значно небезпечніші для довкілля, є такі речовини, як цинк, хром, фтор, формальдегіди, феноли, сірководень, свинець, роданіди, олово, нікель, мідь, миш'як, марганець, кобальт, карбамід, алюміній, жири та масла.

Загальна тенденція зменшення обсягів стічних вод, що потрапляють у навколишнє середовище, призводить до зменшення концентрацій цих забруднювачів.

Висновки.

Таким чином, у даній роботі було визначено, що вода є незамінним ресурсом як для природних систем, так і для соціально-економічного життя суспільства. Відзначено, що в Україні є декілька проблем, що вимагають негайного вирішення, такі як недостатня забезпеченість водою, технологічна відсталість багатьох виробництв, значні втрати води при транспортуванні через застарілі системи водопостачання і забруднення водойм через скидання неочищених або недостатньо очищених стічних вод. Для вирішення цих проблем необхідно провадити комплексні заходи, що будуть включати модернізацію систем водопостачання, стимулювання впровадження екологічних технологій виробництв, замкнених циклів водоспоживання, посилення контролю за очищенням стічних вод та вдосконалення законодавства та стандартів у сфері охорони вод та визначення концентрацій забруднюючих речовин, а також підвищення обізнаності населення щодо раціонального використання водних ресурсів. Отже, збереження водних ресурсів стане не тільки екологічним завданням, але й умовою забезпечення існування людства і сталого розвитку для майбутніх поколінь.

Література:

1. Popkin B. M., D'Anci K. E., Rosenberg I. H. Water, hydration, and health. *Nutrition Reviews*. 2010. Vol. 68(8). P. 439–458. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00304.x>
2. Lin L., Yang H., Xu X. Effects of Water Pollution on Human Health and



Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>

3. Chen B., Wang M., Duan M. et al. In Search of Key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 228. P. 101–111. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.228

4. Chowdhary P., Bharagava R.N., Mishra S. et al. Role of Industries in Water Scarcity and Its Adverse Effects on Environment and Human Health / Environmental Concerns and Sustainable Development. Singapore. 2019. P. 235–256. doi:10.1007/978-981-13-5889-0_12

5. Dwivedi S., Mishra S., Tripathi R. D. Ganga Water Pollution: A Potential Health Threat to Inhabitants of Ganga Basin. *Environ. Int.* 2018. Vol. 117. P. 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.05.015>

6. Allan R., Barlow M., Byrn M.R. et al. Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2020. Vol. 1472, no.1. P. 49–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.14337>

7. Ahmed T., Zounemat-Kermani M., Scholz M. Climate Change, Water Quality and Water-Related Challenges: A Review with Focus on Pakistan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. 17(22). P. 8518. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228518>

8. Vogel R. M., Lall U., Cai X. et al. Hydrology: The interdisciplinary science of water. *Water Resources Research*. 2015. Vol. 51(6). P. 4409–4430. <https://doi.org/10.1002/2015WR017049>

9. Mulvey P., Mulvey F., Dmytruk Y. et al. Hidden in plain sight. Global heating, the small water cycle, and the social contract. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 81(1). P. 177–188. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2245287>

10. Kuang X., Liu J., Scanlon B. R. et al. The changing nature of groundwater in the global water cycle. *Science*. 2024. Vol. 383, no. 6686. <https://doi.org/10.1126/science.adf0630>

11. Dorigo W., Dietrich S., Aires F. et al. Closing the water cycle from observations across scales: Where do we stand? *Bulletin of the American*



Meteorological Society. 2021. P. 1–95. <https://doi.org/10.1175/bams-d-19-0316.1>

12. Motlagh A. M., Yang Z., Saba H. Groundwater quality. *Water Environment Research*. 2020. Vol. 92(10). P. 1649–1658. <https://doi.org/10.1002/wer.1412>

13. Xia Y., Zhang M., Tsang D. C. W. et al. Recent advances in control technologies for non-point source pollution with nitrogen and phosphorous from agricultural runoff: current practices and future prospects. *Applied Biological Chemistry*. 2020. Vol. 63, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-0493-6>

14. Bijay-Singh, Craswell E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 3, no. 4. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>

15. Silkin S. V., Kulikov E. E., Popov I. A. et al. Mineral composition modelling of natural surface water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 103(17). P. 5759–5770. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1943372>

16. Arif A., Malik M. F., Liaqat S., et al. Water Pollution and Industries. *Pure Appl. Biol. (PAB)*. 2020, Vol. 9 (4). P. 2214–2224. doi:10.19045/bspab.2020.90237

17. Boguniewicz-Zablocka J., Klosok-Bazan I., Naddeo V. Water quality and resource management in the dairy industry. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26(2). P. 1208-1216. DOI: 10.1007/s11356-017-0608-8.

18. Kinnunen, P., Obenaus-Emler, R., Raatikainen, J. Review of closed water loops with ore sorting and tailings valorisation for a more sustainable mining industry. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 278. P. 123237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123237>

19. Garcia-Zavala C., Ordens C., Pagliero L. et al. An approach for prioritising environmental, social and governance (ESG) water-related risks for the mining industry: The case of Chile. *The Extractive Industries and Society*. 2023. Vol. 14. P. 101259. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101259>

20. Romashchenko M., Faybishenko B., Onoprienko D. et al. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. Vol. 50(2). P. 104-120. URL: <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>

21. Bjornlund, H., Nickum, J. E., & Stephan, R. M. The wicked problems of water



quality governance. Water International. 2018. Vol. 43(3). P. 323–326.
<https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1452864>

22. D'Odorico P., Chiarelli D.D., Rosa L. et al. The global value of water in agriculture. Economic sciences. 2020. Vol. 117(36). P. 21985-21993. DOI:10.1073/pnas.2005835117

23. Mancosu N., Snyder R.L., Kyriakakis G. et al. Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. Water. 2015. Vol. 7(3). P. 975-992. <https://doi.org/10.3390/w7030975>.

24. Strokal, V. Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. Journal of Integrative Environmental Sciences. 2021. Vol. 18(1). P. 67–87. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2021.1930058>

25. Musie W., Gonfa, G. Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. Heliyon. 2023. Vol. 9(8). e18685. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18685>

26. Koelmans A. A., Mohamed Nor N. H., Hermesen E. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research. 2019. Vol. 155. P. 410-422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>

27. Strade, E., Kalnina, D., Kulczycka, J. Water efficiency and safe re-use of different grades of water-Topical issues for the pharmaceutical industry. Water Resources and Industry. Vol. 24. P. 100132. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2020.100132>

28. Довкілля України. Статистичний збірник. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/10/zb_dov_22.pdf.

Abstract. Water is an irreplaceable component of the environment that sustains life on Earth. Water also has great socio-economic significance, being used in industry, agriculture, and domestic life. However, water availability is limited in Ukraine. The study was based on the analysis and mathematical processing of statistical data. Water consumption and drainage, water intake from natural sources, use of recycled water, losses during transportation, wastewater discharge, and its composition were analyzed. The unevenness of water supply between regions of the country and the deficit in the central, eastern, and southern regions were identified. A downward trend in total water consumption was noted, caused by both population decline and a reduction in industrial production in the country. Despite the increasing role of recycled water use, its total volume has decreased, which correlates with the decline in industry. The same reason explains the slight decrease in the discharge of chemical compounds with wastewater. It has been determined that the main problems



requiring solution include significant water losses during transportation due to worn-out networks and the discharge of insufficiently treated wastewater into surface water bodies. It has also been found that the main pollutants in wastewater are phosphates, nitrates, chlorides, and heavy metals. To solve the existing problems, it is necessary to develop a comprehensive water management strategy. This includes modernizing water supply and treatment networks, which will reduce freshwater losses during transportation and secondary pollution, encouraging the introduction of closed water consumption cycles, using the latest resource-intensive and low-waste technologies, applying new wastewater treatment methods, raising public awareness of the rational use of water resources, and increasing state control over compliance with water resources legislation.

Keywords: *environment, water consumption, water recycling, wastewater, water treatment*

Стаття відправлена: 14.09.2025 р.

© Архипова В.В., Волкова В.Є., Груздєва О.В.



УДК: 633.11 : 631.82

FORMATION OF SEED PRODUCTIVITY OF SELECTION SAMPLES OF SEED PEA (WINTER)

ФОРМУВАННЯ НАСІННЄВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СЕЛЕКЦІЙНИХ ЗРАЗКІВ ГОРОШКУ ПОСІВНОГО (ОЗИМОГО)

Marinich L.G./Мариніч Л.Г.

k. s.-g. n./к. с.-г. н.

ORCID: 0000-0002-0073-9433

Salivon Y.S./Саливон Є.С.

zdobuvach stupenya vyshchoyi osvity MAHISTR

Poltava State Agrarian University, Skovorody 1/3, 36003

Полтавський державний аграрний університет, Сковороди 1/3, 36003

Актуальність. Серед однорічних бобових трав горошок посівний (озимий) у сучасному кормовиробництві є досить перспективною та актуальною культурою. Він має у своїй кормовій масі поживні легкозасвоювані речовини та біологічно повноцінний білок, який поєднує у своєму складі всі незамінні амінокислоти. Як один з компонентів зеленого конвеєра горошок здатний скоротити дефіцит високоякісного білка. Особливістю цієї культури є можливість отримати зелену масу гарної якості у період, коли тваринам особливо потрібні соковиті корми – рано навесні, на 20-30 днів раніше за інші культури. **Визначення проблеми.** Низька ефективність насінництва горошку посівного (озимого) пов'язана і з біологічними особливостями розвитку цієї культури: постійним ростом рослин (до 2-2,5 м) при надмірному зволоженні і пов'язане з цим вилягання травостою; розтягнутість і неодноразовість цвітіння, дозрівання бобів, їх легкої розтріскуваності і сильним осипання насіння при контрастних змінах відносної вологості повітря в нічні і денні години. Внаслідок цих причин і недостатньої розробленості сортових технологій спроби ведення насінництва горошку посівного (озимого) в господарствах закінчувалися невдачею. **Матеріали і методи** Дослідження проводилися на Полтавській державній сільськогосподарській дослідній станції ім. М.І. Вавилова в 2022-2024 роках. Для дослідження нами були використані 10 зразків горошку посівного (озимого), які були створені методом добору та гібридизації у результаті проведеної селекційної роботи: КП6, КП12, КП14, КП22, КП30, КП36, КП38, КП44, КП46, КПП. **Результати.** За результатами досліджень, для селекційної роботи на підвищену насінневу продуктивність радимо використовувати селекційні зразки горошку посівного (озимого): за одночасністю дозрівання насіння селекційні зразки КПП, КП38, КП36, КП44; короткий період цвітіння-дозрівання насіння зразки КП14, КП36, КП38 та КПП; кількість бобів на рослину селекційні зразки КП14, КП36, КП9, КП38 та КПП; кількість насіння на рослину селекційні зразки КП14, КП36, КП38 та КПП; високий урожай насіння зразки КП14, КП36, КП38, КПП. **Висновки.** Селекційні зразки КП14, КП36, КП38 і КПП володіють генетичними ознаками, які підвищують насінневу продуктивність, якість насіння та високу схожість. Використання їх у селекційних програмах дозволяє підвищити генетичний потенціал нових сортів, сприяє формуванню стабільних врожаїв насіння і відповідає сучасним вимогам щодо підвищення рівня насінництва сільськогосподарських культур.

Ключові слова: горошок посівний (озимий), насіннева продуктивність, селекційні зразки, кількість бобів, кількість насіння

Серед однорічних бобових трав горошок посівний (озимий) у сучасному кормовиробництві є досить перспективною та актуальною культурою. Він має у



своїй кормовій масі поживні легкозасвоювані речовини та біологічно повноцінний білок, який поєднує у своєму складі всі незамінні амінокислоти. Як один з компонентів зеленого конвеєра горошок здатний скоротити дефіцит високоякісного білка [1]. Особливістю цієї культури є можливість отримати зелену масу гарної якості у період, коли тваринам особливо потрібні соковиті корми – рано навесні, на 20-30 днів раніше за інші культури [2].

Однак, незважаючи на високі кормові якості і агротехнічне значення посівів, горошок досить мало використовується, що багато в чому пов'язано із дефіцитом насіння даної культури та в першу чергу недостатньо добре налагодженим насінництвом [3]. Це пов'язано з відсутністю загального підходу до проблеми формування продуктивності сортів і, перш за все, з точки зору виявлення механізмів зв'язку з ростом, розвитком вегетативних, генеративних органів і кореневої системи в несприятливих умовах [4]. Низька ефективність насінництва горошку посівного (озимого) пов'язана і з біологічними особливостями розвитку цієї культури: постійним ростом рослин (до 2-2,5 м) при надмірному зволоженні і пов'язане з цим вилягання травостою; розтягнутість і неодноразовість цвітіння, дозрівання бобів, їх легкої розтріскуваності і сильним осипання насіння при контрастних змінах відносної вологості повітря в нічні і денні години. Внаслідок цих причин і недостатньої розробленості сортових технологій спроби ведення насінництва горошку посівного (озимого) в господарствах закінчувалися невдачею [5].

Тому, актуальним завданням наукових досліджень є створення нових сортів та гібридів сільськогосподарських культур для збільшення виробництва насіння горошку посівного (озимого).

Головний напрямок в селекції горошку посівного (озимого) – підвищення урожайності насіння і зеленої маса, вмісту протеїну і покращення амінокислотного складу, стійкості до несприятливих умов перезимівлі, пошкодження хворобами і шкідниками.

Селекційна робота спрямована, в першу чергу, на підвищення адаптивності до абіотичних факторів навколишнього середовища, підвищення кормової та



насінневої продуктивності при відповідній якості кормів [6].

Проблемою отримання високих урожаїв насіння горошку посівного (озимого) є неодноразовість дозрівання насіння на рослині. Насіння має досить розтягнутий період дозрівання, інколи насіння на верхівці рослини ще тільки починає дозрівати, насіння нижній ярусів уже достигло, і починає висипатися [7]. Тому ми приділяємо увагу даній ознаці, як одній з основних, яка свідчить про придатність насіння до механізованого збирання, та впливає на урожайність насіння [8].

Дослідження проводилися на Полтавській державній сільськогосподарській дослідній станції ім. М.І. Вавилова в 2022-2024 роках. Для дослідження нами були використані 10 зразків горошку посівного (озимого), які були створені методом добору та гібридизації у результаті проведеної селекційної роботи: КП6, КП12, КП14, КП22, КП30, КП36, КП38, КП44, КП46, КПП.

У наших дослідженнях, у 2022 році одночасність дозрівання насіння коливалася від 3 до 7 балів. У зразків КП12, КП22 та у сорту стандарту Полтавська 77 насіння дозрівало неодноразово, що призвело до значних втрат насіння. У зразків КП6, КП14, КП30, КП38, КП44, КП46 насіння дозрівало більш дружно, що сприяло меншим втратам насіння, у зразка КПП насіння дозрівало досить одночасно, втрат насіння від висипання практично не відмічено.

У 2023 році насіння у зразків мало 3, 5 та 7 балів за ознакою дозрівання насіння. Рівень прояву ознаки 3 бали мали зразки КП6, КП12, КП36. Зразки КП14, КП22, КП 30, КП36, КП44 та сорт стандарт мали 5 балів за даною ознакою. Кращими в умовах вегетаційного періоду були зразки КП38 та КПП, вони мали 7 балів.

У 2024 році основна частина зразків мала 5 балів за даною ознакою. Зразок КП30 мав 3 бали. На високому рівні була одночасність дозрівання насіння у зразків КП38, КП44, КПП. У сорту стандарту Полтавська 77 одночасність дозрівання насіння становила 5 балів. За три роки вивчення за ознакою одночасність дозрівання насіння рекомендуємо селекційні зразки КПП, КП38, КП36, КП44.



Кількість бобів на рослині є досить важливою ознакою, яка впливає на формування насінневої продуктивності горошку посівного (озимого). У наших дослідженнях, у 2022 році кількість продуктивних бобів на рослинах селекційних зразків горошку посівного озимого коливалася у межах 3-11 шт./рослину. Найбільшу кількість бобів мали зразки КП14 (8 шт./рослину), КП30 (10 шт./рослину), КП36 (9 шт./рослину), КП38 (10 шт./рослину), КПП (11 шт./рослину). Середню кількість бобів мали зразки КП22, КП44 та КП46, кількість бобів у них була 7 штук на рослину. Низьку кількість бобів мали зразки КП6 (3 шт./рослину) та КП12 (4 шт./рослину). Кількість бобів у сорту стандарту Полтавська 77 була 6 шт./рослину.

У 2023 році кількість бобів на рослину коливалася у межах 5-12 шт./рослину. Найбільшу кількість бобів мали селекційні зразки КП14 (10 шт./рослину), КП36 та КПП (11 шт./рослину), КП38 (12 шт./рослину). Зразки КП12, КП30, КП44 мали таку кількість бобів, як і рослини сорту стандарту Полтавська 77 (6 шт./рослину). Низьку кількість бобів мали рослини зразка КП22 (5 шт./рослину).

У 2024 році кількість бобів у селекційних зразків коливалася у межах 4-12 шт./рослину. Найбільшу їх кількість мали зразки КП36 (11 шт./рослину), КП38 (12 шт./рослину), КП46 (8 шт./рослину) та КПП (10 шт./рослину). Середню кількість бобів мали зразки КП12, КП22, КП30 та КП44 (7 шт./рослину). Низьку кількість бобів мав селекційний зразок КП6 (4 шт./рослину). Кількість бобів у сорту стандарту Полтавська 77 становила 6 шт./рослину.

За результатами наших досліджень, за ознакою кількість бобів на рослину ми для подальшої селекційної роботи рекомендуємо використовувати селекційні зразки КП14, КП36, КП9, КП38 та КПП.

За результатами вивчення ознаки кількість насіння з рослини у селекційних зразків горошку посівного (озимого) у 2022 році отримали такі результати. Кількість насіння з рослини коливалася у межах 49-98 шт./рослину. Найбільшу кількість насіння мали рослини зразків КП38 (89 шт./рослину), КП36 (98 шт./рослину) та КПП (96 шт./рослину). Середню кількість насіння мали зразки



КП22 (83 шт./рослину), КП44 (87 шт./рослину). Зразки КП6, КП12, КП14 та КП46 мали низьку кількість насіння з рослини у порівнянні із даною ознакою у сорту стандарту Полтавська77, у якої кількість насіння становила 82 шт./рослину.

У 2022 році кількість насіння з рослини коливалася у зразків від 68-127 шт./рослину. Найбільшу кількість насіння мали зразки КП14 (111 шт./рослину), КП36 (109 шт./рослину), КП38 (120 шт./рослину) та КПП (127 шт./рослину). Середню кількість насіння мали зразки КП44 (98 шт./рослину), КП46 (87 шт./рослину), КП30 (89 шт./рослину). Низьку кількість насіння мали зразки КП6 (69 шт./рослину), КП12 (76 шт./рослину) та КП30 (89 шт./рослину).

У 2024 році кількість насіння у селекційних зразків коливалася у межах 55-102 шт./рослину. Найбільшу їх кількість мали зразки КП14 (100 шт./рослину), КП36 (99 шт./рослину), КП38 (98 шт./рослину) та КПП (102 шт./рослину). Середню кількість насіння з рослини мали зразки КП44 (89 шт./рослину) та КП46 (86 шт./рослину). Низьку кількість насіння мали зразки КП6 (55 шт./рослину) та КП12 (59 шт./рослину). У зразка КП22 кількість насіння була на рівні сорту стандарту і становила 81 шт./рослину.

За результатами наших досліджень, ми можемо за даною ознакою рекомендувати селекційні зразки горошку посівного озимого КП14, КП36, КП38 та КПП (табл.1).

Урожайність насіння у горошку посівного (озимого) досить нестійка ознака, великий вплив на формування якої мають погодно-кліматичні умови.

У наших дослідженнях у 2022 році урожай насіння у селекційних зразків коливався від 0,27-0,91 т/га. Найбільший врожай насіння мали селекційні зразки КП14 (0,86 т/га), КП39 (0,81 т/га), КР38 (0,87 т/га), КПП (0,90 т/га). Середній рівень урожайності насіння мали зразки КП44 (0,61 т/га), КП46 (0,56 т/га). Низький рівень врожайності мали селекційні зразки КП6 (0,27 т/га), КП12 (0,43 т/га), КП 22 (0,41 т/га). Урожай насіння у сорту стандарту Полтавська 77 становив 0,52 т/га.

У 2024 році урожай насіння у селекційних зразків коливався у межах 0,30-



0,81 т/га. Найвищий урожай мали селекційні зразки КП14 (0,67 т/га), КП26 (0,81 т/га), КП38 (0,79 т/га) та КПП (0,81 т/га). Середню урожайність насіння мали селекційні зразки КП46 та КП12 (0,50 т/га), КП22 (0,53 т/га). Низький рівень врожайності мали зразки КП6 (0,30 т/га), КП30 (0,40 т/га) та КП44 (0,45 т/га). Урожайність насіння у сорту стандарту Полтавська 77 була 0,49 т/га.

Таблиця 1 - Кількість насіння у селекційних зразків горошку посівного озимого (шт./рослину)

№ 1	Назва зразка	Кількість насіння у селекційних зразків горошку посівного озимого (шт./рослину)		
		2022	2023	2024
		В середньому на одну рослину	В середньому на одну рослину	В середньому на одну рослину
1	КП6	70	69	55
2	КП12	49	76	59
3	КП14	79	111	100
4	КП22	83	68	81
5	КП30	56	89	69
6	КП36	89	109	99
7	КП38	98	120	98
8	КП44	87	98	89
9	КП46	76	87	86
10	КПП	96	127	102
	Полтавська 77	82	86	81

За результатами наших досліджень, за три роки вивчення для селекції на підвищену насіннєву продуктивність пропонуємо використовувати зразки горошку посівного (озимого) КП14, КП36, КП38, КПП (рис.1).

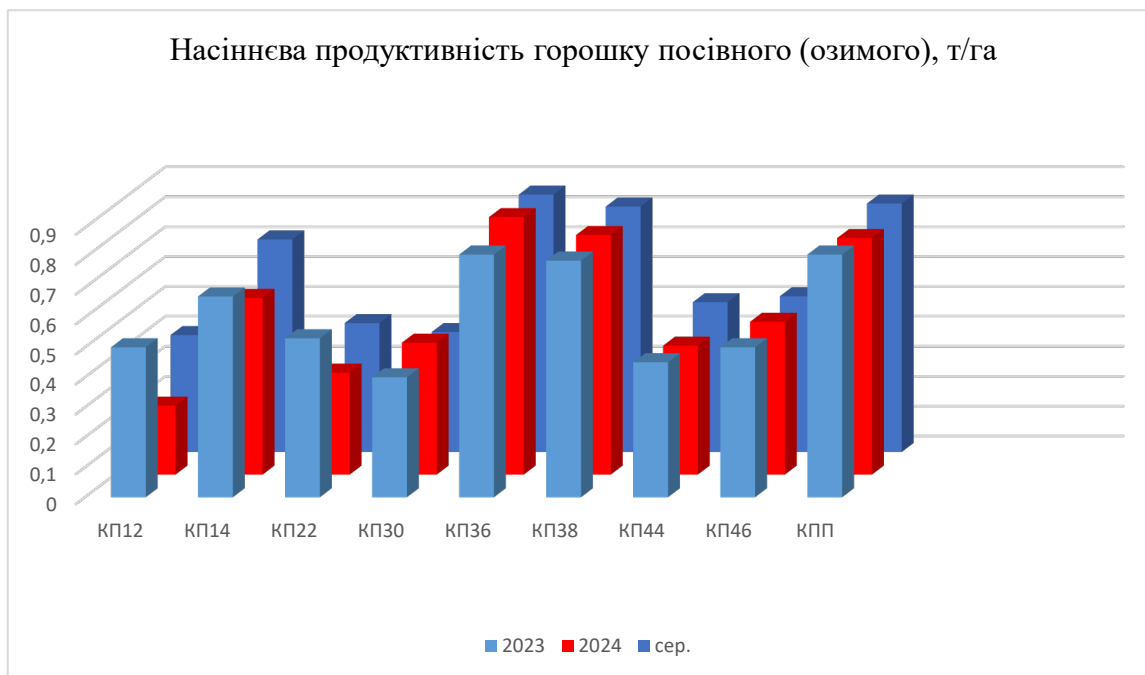


Рис.1 - Насіннєва продуктивність горошку посівного (озимого), т/га

Висновки.

За результатами досліджень, для селекційної роботи на підвищену насіннєву продуктивність радимо використовувати селекційні зразки горошку посівного (озимого): за одночасністю дозрівання насіння селекційні зразки КПП, КП38, КП36, КП44; короткий період цвітіння-дозрівання насіння зразки КП14, КП36, КП38 та КПП; кількість бобів на рослину селекційні зразки КП14, КП36, КП9, КП38 та КПП; кількість насіння на рослину селекційні зразки КП14, КП36, КП38 та КПП; високий урожай насіння зразки КП14, КП36, КП38, КПП.

Література:

1. Бабич А.О. Кормові і білкові ресурси світу. Київ, 1995. 298 с.
2. Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи. Х.: Майдан, 2016. 316 с.
3. Коханюк, Н., Темченко, І., Штуц, Т., Леман, А., Барвінченко, С., та Аралова, Т. (2022). Основні напрямки селекції бобових культур в Інституті кормів та сільського господарства Поділля НААН. Корми та кормовиробництво ,



(93), 31-42. <https://doi.org/10.31073/10.31073/kormovyrobnytstvo202293-03>

4. Корнійчук, О., Антипова, Л., та Манушкіна, Т. (2021). Аналіз стану виробництва кормових культур на півдні України. Корми та кормовиробництво, (91), 20-32. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-02>

5. Дацько А. О. Адаптивні особливості зразків вівса різного еколого-географічного походження / А. О. Дацько // Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. –2016. Вип. 60. С. 39—49.

6. Барвінченко, С.В. (2019). Аналіз перспективних ліній бобових за показниками адаптивності. Корми та кормовиробництво, (87), 27-33. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-04>

7. Чернолата, Л. П., Пирин, Н. І., Новаковська, В. Й. (2019). Кормова цінність суміші тритикале та вики угорської. Корми та виробництво кормів, (88), 107-112. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201988-15>

8. Запрута, О., Антонів, С., та Колісник, С. (2023). Успішне насіннєве господарство багаторічних бобових культур як ключ до розширення посівних площ польових та лучних агрофітоценозів. Корми та кормовиробництво, (95), 40-52. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-03>

Relevance. Among annual leguminous herbs, seed peas (winter varieties) are a quite promising and relevant crop in modern fodder production. They contain easily digestible nutrients and biologically complete protein in their forage mass, which combines all essential amino acids. As one of the components of a green conveyor, seed peas can help reduce the deficit of high-quality protein. A distinctive feature of this crop is the ability to produce high-quality green biomass during a period when animals especially require juicy feeds — early spring, 20-30 days earlier than other crops.

Problem statement. The low efficiency of seed production of seed peas (winter varieties) is related to the biological peculiarities of this crop's development: constant plant growth (up to 2-2.5 m) under excessive moisture, often leading to lodging of the plant canopy; extended and asynchronous flowering and pod ripening, as well as their easy cracking and significant seed shattering during abrupt changes in relative humidity at night and day. Due to these reasons and the insufficient development of varietal technologies, attempts to organize seed production of seed peas (winter varieties) in farms often resulted in failure.

Materials and Methods. The research was conducted at the M.I. Vavilov Poltava State Agricultural Experimental Station from 2022 to 2024. For the study, 10 seed pea (winter variety) samples, developed through selection and hybridization as a result of breeding work, were used: КП6, КП12, КП14, КП22, КП30, КП36, КП38, КП44, КП46, КПП.

Results. Based on the research results, for breeding work aimed at increasing seed productivity, it is recommended to use the following varietal samples of seed peas: for simultaneous seed ripening — КПП, КП38, КП36, КП44; for a short period of flowering and seed ripening — КП14, КП36, КП38, КПП; for the number of pods per plant — КП14, КП36, КП9, КП38, КПП; for the number of seeds per plant — КП14, КП36, КП38, КПП; and for high seed yield — КП14, КП36, КП38, КПП.



Conclusions. *The selection samples KII14, KII36, KII38, and KIIII possess genetic traits that enhance seed productivity, seed quality, and high germination rates. Their use in breeding programs allows increasing the genetic potential of new varieties, supporting the formation of stable seed yields, and complying with modern requirements to improve seed production of agricultural crops.*

Key words: *seed pea (winter), seed productivity, breeding samples, number of pods, number of seeds*



УДК: 633.11 : 631.82

FORMATION OF ALFALFA SEED PRODUCTIVITY DEPENDING ON VARIETAL CHARACTERISTICS

ФОРМУВАННЯ НАСІННЄВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛЮЦЕРНИ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Marinich L.G./Мариніч Л.Г.

k. s.-g. n./к. с.-г. н.

ORCID: 0000-0002-0073-9433

Kochur O.S./Кочур О.С.

zdobuvach stupenya vyshchoyi osvity MAHISTR

Poltava State Agrarian University, Skovorody 1/3, 36003

Полтавський державний аграрний університет, Сковороди 1/3, 36003

Актуальність. Серед різноманіття бобових трав одне з провідних місць займає люцерна. Вона містить 18-20% сирого протеїну у сухій речовині, дуже високої якості. У кормах, зеленій масі та сухій речовині містяться всі необхідні для організму тварин амінокислоти. За вмістом їх люцерна перевершує зерно ячменю, кукурудзи, вівса і майже прирівнюється до зерна гороху. **Визначення проблеми** Вибір сорту люцерни є ключовим фактором, що визначає рівень її насіннєвої продуктивності через вплив на біологічні та агротехнічні характеристики рослин. Наукові дослідження засвідчують, що сортові особливості, такі як стійкість до хвороб і шкідників, пристосованість до конкретних кліматичних і ґрунтових умов, безпосередньо впливають на формування і стабільність насіннєвої продуктивності. **Матеріали і методи** Дослідження проводилися на базі фермерського господарства «Зоря», яке знаходиться в Полтавському районі в 2022–2024 рр. Для дослідження використовували десять сортів люцерни селекції різних установ України: Лідія, Насолода, Ніжність, Унітро, Ласка, Віра, Полтавчанка, Анді, Анжеліка та Надежда. **Результати.** За роки вивчення кращими за ознаками насіннєвої продуктивності були сорти: за кількістю генеративних пагонів кращими були сорти Унітро, Полтавчанка та Надежда; за кількістю зав'язаних бобів у китиці виділилися сорти Унітро та Надежда; за кількістю насінин у бобі виділилися сорти Унітро та Надежда; найвищу масу 1000 насінин мали сорти Унітро та Надежда. **Висновки.** Проведені дослідження свідчать, що сорти Унітро та Надежда дозволяють забезпечити високий рівень продуктивності, стабільний врожай та стійкість до хвороб і шкідників, що є важливим в умовах Полтавського району для підвищення ефективності й екологічної стабільності вирощування люцерни.

Ключові слова: люцерна, сорт, кількість бобів, насіннєва продуктивність, маса 1000 зерен.

Серед різноманіття бобових трав одне з провідних місць займає люцерна [1]. Вона містить 18-20% сирого протеїну у сухій речовині, дуже високої якості. У кормах, зеленій масі та сухій речовині містяться всі необхідні для організму тварини амінокислоти. За вмістом їх люцерна перевершує зерно ячменю, кукурудзи, вівса і майже прирівнюється до зерна гороху [2].

Дослідження науковців свідчать, що сума незамінних амінокислот у люцерни яка має вологість 76,6% складає приблизно 40 г на 1 кілограм корму.



Тому в зарубіжних країнах, зокрема у США люцерна впливає на цінову політику зерна, а ціна на саму люцерну близька до ціни кормових добавок. В Європі посіви під люцерною досить стабільні і протягом останніх років збільшуються, а площі однорічних бобових та злакових трав навпаки зменшуються [3, 4]

Вибір сорту люцерни є ключовим фактором, що визначає рівень її насіннєвої продуктивності через вплив на біологічні та агротехнічні характеристики рослин. Наукові дослідження засвідчують, що сортові особливості, такі як стійкість до хвороб і шкідників, пристосованість до конкретних кліматичних і ґрунтових умов, безпосередньо впливають на формування і стабільність насіннєвої продуктивності [5].

Вибір відповідного сорту люцерни для конкретного регіону дозволяє максимізувати такі показники, як кількість насіння з рослини, ступінь дозрівання, вихід якісного насіння та його схожість. Крім того, правильний вибір сорту забезпечує довгострокову стабільну продуктивності, зменшує ризики зниження врожайності через несприятливі фактори, а також підвищує економічну ефективність виробництва насіння [6] .

Науково доведено, що використання сортів люцерни, адаптованих до місцевих умов, сприяє підвищенню біологічної та економічної ефективності вирощування, зокрема за рахунок покращення цілого комплексу морфо-фізіологічних ознак, що визначають формування та врожай насіння. Тому правильний та обґрунтований вибір сорту є надзвичайно важливим у системі підвищення насіннєвої продуктивності, збереження сортових ознак та сталого розвитку галузі виробництва люцерни.

Дослідження проводилися на базі фермерського господарства «Зоря», яке знаходиться в Полтавському районі в 2022-2024 рр. Для дослідження використовували десять сортів люцерни селекції різних установ України: Лідія, Насолода, Ніжність, Унітро, Ласка, Віра, Полтавчанка, Анді, Анжеліка та Надежда. Походження сортів люцерни представлено в таблиці 1.

Урожайність насіння у багаторічних бобових трав залежать в основному від кількості генеративних пагонів на одиницю площі, насіннєвої продуктивності



кожного пагона, числа суцвіть на пагонові, бобів на суцвітті, насіння в бобі та маси 1000 насінин [2]. Саме тому у селекційних та генетичних дослідженнях вивчення цих ознак набуває досить важливого значення.

Таблиця 1 - Походження сортів люцерни

№	Назва сорту	Країна походження	Установа оригінатор	Рік районування
1.	Лідія	Україна	Полтавська ДСГДС ім. М.І. Вавилова ІС і АПВ НААН	2005
2.	Насолода	Україна	Інститут землеробства південного регіону	2015
3.	Ніжність	Україна	Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннізнавства та сортовивчення Української академії аграрних наук	2015
4.	Унітро	Україна	Інститут землеробства південного регіону	1995
5.	Ласка	Україна	Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннізнавства та сортовивчення Української академії аграрних наук	2007
6.	Віра	Україна	Полтавська ДСГДС ім. М.І. Вавилова ІС і АПВ НААН	1999
7.	Полтавчанка	Україна	Полтавська ДСГДС ім. М.І. Вавилова ІС і АПВ НААН	1987
8.	Анді	Україна	Чернігівський ІАПВ	1996
9.	Анжеліка	Україна	Інститут землеробства південного регіону	2011
10.	Наdejда	Україна	Інститут землеробства південного регіону	1982

В результаті проведених досліджень, у 2022 році кількість генеративних пагонів на 1 м² становила від 90-201 шт/м². За цією ознакою зразки умовно можна розділити на зразки з низькою кількістю генеративних пагонів: Ласка (90 шт/ м²), Ніжність (100 шт/ м²) та Насолода (110 шт/ м²).

Середню кількість генеративних пагонів мали зразки Лідія (150 шт/ м²), Віра (155 шт/ м²) та Анжеліка (149 шт/ м²). Висока кількість генеративних пагонів



була у зразків Унітро (190 шт/ м²), Анді (165 шт/ м²) та Надежда (201 шт/ м²).

У 2023 році кількість генеративних пагонів коливалася у межах 85-190 шт/ м². Найменша кількість їх була у зразків насолода (95 шт/ м²), Ніжність (92 шт/ м²) та Ласка (85 шт/ м²).

Середню кількість генеративних пагонів мали зразки Лідія (145 шт/ м²), Віра (129 шт/ м²) та Анжеліка (125 шт/ м²). Висока кількість генеративних пагонів була у зразків Унітро (170 шт/ м²), Анді (150 шт/ м²) та Надежда (190 шт/ м²).

В 2024 році кількість генеративних пагонів у зразків коливалася від 90-195 шт/ м². Найкращими за цією ознакою були зразки Унітро (195 шт/ м²), Анді (155 шт/ м²) та Надежда (189 шт/ м²). Середньо продуктивними за цією ознакою були зразки Лідія (140 шт/ м²), Віра (145 шт/ м²) та Полтавчанка (145 шт/ м²). Низький показник за кількістю генеративних пагонів мали зразки Насолода (100 шт/ м²), Ніжність та Ласка (90 шт/ м²).

За три роки вивчення кращими були зразки Унітро (185 шт/ м²), Полтавчанка (154 шт/ м²) та Надежда (193 шт/ м²).

За результатами вивченням кількості суцвіть на пагоні ми отримали такі результати. У 2022 році кількість китиць коливалася в межах 35-75 штук/рослину. Найменша кількість суцвіть була у зразка Насолода (40 штук/рослину), Ніжність (39 штук/рослину). Середню кількість суцвіть мали зразки Лідія (61 штук/рослину), Віра (59 штук/рослину), Анжеліка (67 штук/рослину) та Анді (68 штук/рослину). Високу кількість китиць мали сорти Унітро (72 штуки/рослину) та Надежда (70 штук/рослину).

У 2023 році кількість суцвіть коливалась від 38-72 штук на рослину. Найкращим за цим показником були сорти Унітро (70 штук/рослину), Полтавчанка (71 штук/рослину), Анді та Надежда (70 штук/рослину). Середню кількість квіток мали Лідія (67 штук/рослину), Віра (61 штук/рослину) та Анжеліка (69 штук/рослину).

У 2024 році кількість суцвіть була у межах 37-70 штук/рослину. Найменша кількість китиць була у зразків Насолода (41 штук/рослину), Ніжність (43 штук/рослину) та Ласка (37 штук/рослину).



Середня кількість квітів була у сортів Лідія (64 штук/рослину) та Віра (60 штук/рослину). Високий показник був у сортів Унітро (69 штук/рослину), Полтавчанка (72 штук/рослину), Анді (69 штук/рослину), Анжеліка (67 штук/рослину) та Надежда (70 штук/рослину). За три роки вивчення кращими були зразки Унітро, Полтавчанка та Надежда.

Кількість насінин у бобі за результатами вивчення 2022 року коливалась у межах 2-5 штук. Найменше насінин у бобику сформували сорти Насолода та Ніжність (2 штуки), Ласка, Анді, Лідія та Анжеліка по 3 штуки. Сорти Віра та Полтавчанка зав'язали по 4 насінини у бобі. Найбільшу кількість насінин у бобі сформували сорти Унітро та Надежда (5 штук).

У 2023 році найбільшу кількість насіння у бобі сформували сорти Унітро та Надежда (6 штук). Середня кількість насінин була сформована у сортів Полтавчанка та Анді (4 штуки). Найменшу кількість насінин у бобі сформували сорти Лідія та Віра (3 штуки), Насолода, Ніжність та Ласка (2 штуки).

У 2024 році досліджувані сорти зав'язали від 2 до 6 насінин у бобику. Найменшу кількість насінин сформували сорти Ніжність та Ласка (2 штуки). Середню кількість сформували сорти Лідія, Унітро та Анді (4 штуки), Насолода, Віра, Полтавчанка (3 штуки). Високу кількість бобів зав'язали сорти Анжеліка (5 штук) та Надежда (6 штук). За три роки досліджень виділилися сорти Унітро та Надежда.

За результатами вивчення маси 1000 насінин у сортів люцерни у 2022 році сорти Насолода, Унітро, Віра та Анжеліка мали масу 1000 насінин – 2,0 гр, сорт Полтавчанка та Надежда мали масу 1000 насінин – 1,9 г, сорт Лідія та Ніжність – 1,8 г, сорт Ласка – 1,7 г. Найменша маса 1000 насінин була у сорту Ніжність і становила – 1,6 гр.

У 2023 році найбільшу масу 1000 насінин мали сорти Віра та Надежда – 2 г, сорт Насолода та Унітро – 1,9 г, у сортів Ніжність та Полтавчанка маса 1000 насінин була – 1,8 г, у сорту Анжеліка – 1,7 г. Сорти Ласка та Анді мали масу 1000 насінин 1,6 г.

За результатами вивчення 2024 року найбільшу масу 1000 насінин мав



зразок Унітро – 2,1 г. Сорти Полтавчанка та Надежда мали масу 1000 насінин – 2,0 г. Лідія, Насолода, Ласка, Віра та Анжеліка – 1,9 г. найменшу масу 1000 насінин мали зразки Ніжність та Анді – 1,6 г. За результатами досліджень 2022-20204 років найвища маса 1000 насінин була у зразків Унітро та Надежда.

За результатами досліджень насіннєва продуктивність сортів у 2022 році коливалася у межах 0,27-0,80 т/га. Найменший урожай насіння був у сортів Насолода (0,29 т/га), Ласка (0,28 т/га). Середній рівень врожайності мали сорти Лідія (0,46 т/га), Віра (0,42 т/га), Полтавчанка (0,52 т/га) та Анжеліка (0,40 т/га). Висока урожайність насіння була у сортів Унітро (0,70 т/га) та Надежда (0,60 т/га).

У 2023 році урожайність насіння у сортів коливалась на рівні 0,27-0,80 т/га. Найменший урожай насіння мали сорти Насолода (0,34 т/га), Ніжність (0,27 т/га), Ласка (0,30 т/га) та Анжеліка (0,36 т/га). Середній рівень врожайності мали сорти Лідія (0,41 т/га), Вірі (0,39 т/га), Полтавчанка (0,49 т/га) та Анді (0,41 т/га). Найвищий врожай мали сорти Унітро (0,80 т/га) та Надежда (0,78 т/га).

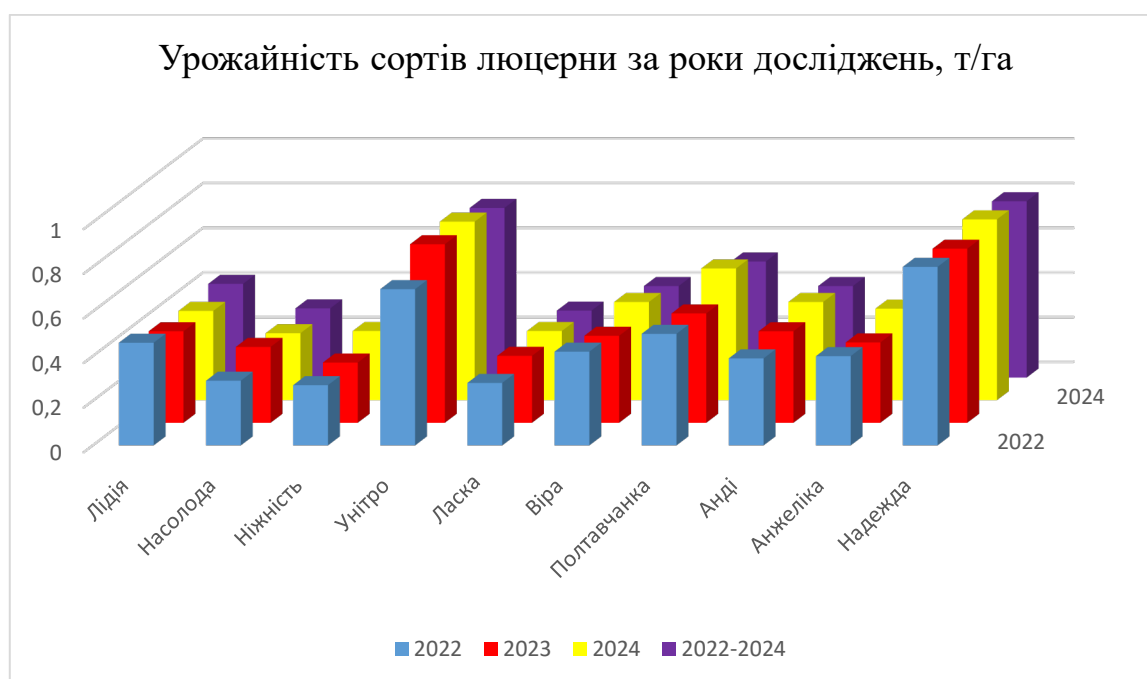


Рис.1. Урожайність сортів люцерни за роки досліджень, т/га

НІР_{0,05} (2022-2024 рр) – 0,013



У 2024 році найвищий урожай насіння був у сортів Унітро (0,76 т/га) та Надежда (0,78 т/га). Середній рівень урожайності мали сорти Лідія (0,42 т/га), Віра (0,41 т/га), Полтавчанка (0,52 т/га), Анді (0,41 т/га) та Анжеліка (0,39 т/га). Самий низький урожай насіння мали сорти Насолода (0,30 т/га), Ніжність (0,41 т/га) та Ласка (0,31 т/га). За результатами вивчення 2022-2024 років найвищий урожай насіння мали сорти Унітро, Надежда та Полтавчанка (рис.1).

Висновки.

За роки вивчення кращими за ознаками насіннєвої продуктивності були сорти: за кількістю генеративних пагонів кращими були Унітро, Полтавчанка та Надежда; за кількістю зав'язаних бобів у китиці виділилися сорти Унітро та Надежда; за кількістю насінин у бобі виділилися сорти Унітро та Надежда; найвищу масу 1000 насінин мали сорти Унітро та Надежда; найвищий урожай насіння мали сорти Унітро, Надежда та Полтавчанка.

Література:

1. Лупенко Ю. О., Ходаківська О. В., Нечипоренко О. М. Стан і тенденції розвитку сільського господарства в структурі національної економіки України. Наукові горизонти, 2022, Том 25, № 6, 2022 121-128. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(6\).2022.121-128](https://doi.org/10.48077/scihor.25(6).2022.121-128) 1
2. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В., Задорожна І. С. Становлення та розвиток кормовиробництва в Україні. Вісник аграрної науки. 2018. № 11 (788). С. 54–62. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk.201811-08>.
3. Цимбал Я. С., Кущук М. А. Продуктивність і кормова цінність люцерни порівняно з іншими багаторічними травами. Вісник аграрної науки, 2019, №10 (799), 24-31.
4. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В., Задорожна І. С. Становлення та розвиток кормовиробництва в Україні. Вісник аграрної науки. 2018. № 11 (788). С. 54–62. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk.201811-08>.
5. Петриченко В. Ф., Гетман Н. Я., Циганський В. І. Люцерна посівна як стабілізуювальний чинник інтенсифікації кормовиробництва. Вісник аграрної



науки. 2018. № 10. С. 19–26.

6.Марцінко Т.І., Карасевич Н.В., Бегей С.С. Вплив способів удобрення та режимів використання на формування бобово-злакового травостою. 148 Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2023. Вип. 73 (2). С 63- 75.

7. Сеник, І. І. Формування ботанічного складу конюшиновозлакових та люцерно-злакових агрофітоценозів залежно від способу сівби. Збірник наукових праць «Агробіологія, 2020, 160-169.

8. Оліфірович В. О., Векленко Ю. А. Підвищення ефективності вирощування люцерно-злакових та лядвенцево-злакових сумішок на еродованих схилах. Корми і кормовиробництво, 2021, Випуск 91, 93-102.

Abstract. relevance. Among the various leguminous herbs, alfalfa occupies a leading position. It contains 18-20% crude protein in dry matter, of very high quality. All essential amino acids necessary for the animal's organism are present in the forage, green mass, and dry matter. In terms of amino acid content, alfalfa surpasses barley, corn, and oats, and is almost comparable to pea grain. **Problem Statement.** The choice of alfalfa variety is a key factor influencing its seed productivity level, due to its impact on the biological and agronomic characteristics of the plants. Scientific studies confirm that varietal features such as resistance to diseases and pests, adaptability to specific climatic and soil conditions, directly affect the formation and stability of seed productivity. **Materials and Methods.** The research was conducted at the "Zorya" farm located in the Poltava region during 2022–2024. Ten alfalfa varieties bred by various Ukrainian institutions were used: Lidia, Násoloda, Nizhnost, Unitro, Laska, Vira, Poltavchanka, Andi, Angelica, and Nadezhda. **Results.** Over the years of study, the best seed productivity indicators were observed in the varieties: for the number of generative stems, the best samples were Unitro, Poltavchanka, and Nadezhda; for the number of pods per cluster, Unitro and Nadezhda stood out; for the number of seeds per pod, varieties Unitro and Nadezhda led; and the highest mass of 1000 seeds was recorded in Unitro and Nadezhda. **Conclusions.** The conducted research shows that the varieties Unitro, Nadezhda, and Poltavchanka can ensure a high level of productivity, stable yield, and resistance to diseases and pests. This is especially important in the conditions of the Poltava district for increasing the efficiency and ecological stability of alfalfa cultivation.

Key words: alfalfa, variety, number of pods, seed productivity, mass of 1000 seeds.



УДК 528.4:712.25:502.7

GEODETIC INVENTORY AND ANALYSIS OF LANDS OF THE NATURE RESERVE FUND AS A BASIS FOR PLANNING AND RECONSTRUCTION OF PARK AND GARDEN OBJECTS

ГЕОДЕЗИЧНИЙ ОБЛІК ТА АНАЛІЗ ЗЕМЕЛЬ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ
ЯК ОСНОВА ПЛАНУВАННЯ І РЕКОНСТРУКЦІЇ САДОВО-ПАРКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Nahorna S.V. / Нагорна С.В.

PhD. in Agricultural Sciences / К.с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0001-6286-1656

Kuryshko R.V. / Куришко Р. В.

Senior Lecturer / Ст. викл.

ORCID ID: 0000-0003-0405-8130

Chuvpylo V. V. / Чувпило В. В.

PhD in Public Administration / к.н. з держ. упр., доцент.

ORCID ID: 0000-0001-9102-7396

Shevchuk S.M. / Шевчук С. М.

Dr. Sc. (Geogr.), Professor / Д. г. н., професор

ORCID ID: 0000-0002-8155-8326

Gapon S. V. / Гапон С. В.

Dr. Sc. (Biological Sciences), Professor / Д. б.н., професор

ORCID ID: 0000-0002-4902-6055

Poltava State Agrarian University, Poltava, 1/3 Skovorody Street, 36003

Полтавський державний аграрний університет, Полтава, вул. Сковороди 1/3, 36003

Анотація. У статті розглядаються методи геодезичного обліку та аналізу земель природно-заповідного фонду як практична основа для планування та реконструкції садово-паркових об'єктів. На прикладі парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «Парк сільськогосподарського технікуму» м. Полтава проведено комплекс геодезичних робіт, що включав топографічне знімання, інвентаризацію зелених насаджень, визначення меж земельної ділянки та оцінку сучасного стану природних ресурсів. Використання сучасних ГІС-інструментів, методів цифрового картографування та 3D-моделювання дозволило створити високоточну цифрову модель рельєфу, яка стала основою для аналізу просторової структури території та прогнозування можливих змін у разі проведення реконструкційних робіт. Запропоновані планувальні рішення орієнтовані на оптимізацію просторової організації парку, збереження цінних видів та ландшафтних елементів, підвищення рівня рекреаційної доступності та гармонійне поєднання природоохоронних і культурно-естетичних функцій. Особлива увага приділена питанням охорони та раціонального використання земель ПЗФ, що сприяє формуванню екологічно збалансованих умов розвитку садово-паркових об'єктів у міському середовищі.

Ключові слова: геодезичні роботи, природно-заповідний фонд, садово-паркове планування, реконструкція, ГІС, цифрова модель рельєфу.

Вступ.

Землі природно-заповідного фонду України становлять особливу категорію, що має пріоритетне природоохоронне, наукове, рекреаційне та культурне значення. До їх складу належать заповідники, національні природні парки,



регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Вони є важливим елементом екологічної мережі держави та потребують належного правового захисту, контролю й систематичного моніторингу. В умовах інтенсивних антропогенних навантажень і глобальних кліматичних змін особливої актуальності набуває питання збереження та раціонального використання цих територій.

Геодезичний облік є ключовим інструментом у визначенні меж територій природно-заповідного фонду, контролі за їх збереженням та запобіганні порушенням встановленого режиму охорони. Застосування сучасних геоінформаційних систем (GIS), GNSS-технологій, аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів і побудови цифрових моделей рельєфу дає змогу отримувати точні просторові дані. Це забезпечує ефективне планування, моніторинг стану природних комплексів і прийняття рішень щодо їх подальшого розвитку.

Метою дослідження є визначення ролі геодезичного забезпечення як основи для формування стратегії збереження земель природно-заповідного фонду, їх інтеграції в державну систему земельного кадастру та розробки заходів зі сталого природокористування.

Раціональне використання земельних ресурсів у межах природно-заповідного фонду є одним із пріоритетних напрямів земельної політики України. Законодавча база, зокрема Земельний кодекс України [1], Закон України «Про природно-заповідний фонд України» [3], а також спеціальні нормативні документи [5–7], передбачають обов'язковість проведення інвентаризації земель для уточнення меж, правового статусу та фактичного використання земельних ділянок. У цьому контексті особливе значення мають топографо-геодезичні роботи, що передбачають створення цифрових моделей рельєфу, побудову карт із горизонталями та ведення кадастрових планів, які забезпечують точне відображення морфології місцевості.

Дослідження проведено на прикладі парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «Парк сільськогосподарського технікуму» м.



Полтава, який належить до земель природно-заповідного фонду. Територія площею 2,5 га має статус земель природоохоронного призначення (код 300) із цільовим використанням для збереження та використання парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (шифр 04.07). Її історико-ландшафтна цінність визначається наявністю унікальних дендрофлорних композицій, а також функціонуванням як важливої рекреаційної та культурної зони в межах міської забудови.

У рамках дослідження проведено комплексне геодезичне обстеження території, що включало визначення меж земельної ділянки, висотних відміток та побудову цифрової моделі рельєфу. У дослідженні використано сучасні GNSS-технології, зокрема приймачі Trimble R2, що працюють у режимі RTK з підключенням до мережі постійно діючих базових станцій System.NET [8]. Збір даних проводився у системі координат УСК-2000 із подальшим трансформуванням у місцеву систему координат (МСК Полт. області) [6].

Польові вимірювання охоплювали визначення координат поворотних точок меж, елементів рельєфу та розташування зелених насаджень. Камеральна обробка даних здійснювалась у програмному забезпеченні, що дозволило сформувати цифрову модель рельєфу у форматі DMF [9].

Важливим етапом стала інвентаризація зелених насаджень, що дала змогу оцінити їх стан, вікову структуру та екологічну значущість. Отримані результати можуть бути використані як у практиці землеустрою та проектування, так і в розробці стратегій збереження та розвитку об'єктів природно-заповідного фонду.

Основний текст. Сучасні підходи до управління міськими та приміськими територіями дедалі більше ґрунтуються на принципах сталого розвитку, в межах якого землі природно-заповідного фонду (ПЗФ) посідають особливе місце як елементи екологічного каркасу та ключові осередки збереження біорізноманіття. Вони не лише виконують природоохоронні функції, а й виступають факторами екологічної безпеки, формування сприятливого середовища для життя та оздоровлення населення.



Відповідно до чинного земельного законодавства України, землі ПЗФ охоплюють території природних заповідників, національних природних парків, регіональних ландшафтних парків, заказників, пам'яток природи, ботанічних садів, дендропарків та парків-пам'яток садово-паркового мистецтва. Для них встановлюється спеціальний правовий режим, спрямований на забезпечення збереження природних комплексів і об'єктів, обмеження господарської діяльності та збереження унікальних ландшафтів.

Методологія інвентаризації земель ПЗФ вимагає системного підходу, що включає картографічне відображення об'єктів, чітку фіксацію меж у правовому полі, оцінку їхнього екологічного стану та визначення рівня антропогенного навантаження. В умовах цифровізації землеустрою ключовим інструментом стає використання геоінформаційних систем (ГІС), які дають змогу не лише просторово локалізувати об'єкти та моніторити їхній стан, а й моделювати сценарії подальшого розвитку, прогнозувати екологічні ризики та ідентифікувати потенційні загрози деградації.

Особливого підходу потребує інвентаризація парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, що належать до об'єктів природно-заповідного фонду. Вони поєднують у собі природоохоронну, історико-культурну та рекреаційну цінність. У процесі інвентаризації важливим є визначення флористичного складу, вікової структури деревних насаджень, адаптаційного потенціалу рослин до умов урбоєкосистеми. Такий облік створює підґрунтя для розроблення стратегії охорони, догляду, відновлення та раціонального використання цих унікальних об'єктів.

Проведена інвентаризація земель передбачала встановлення меж ділянки, визначення правового статусу, категорії земель та складу угідь. Геодезичне забезпечення базувалося на застосуванні GNSS-технологій, мережі System.NET, RTK-поправок і сучасного тахеометричного обладнання, що дало можливість досягти високої просторової точності та юридичної визначеності. Це відкриває перспективи для ефективного планування використання території відповідно до вимог природоохоронного законодавства.



Інвентаризація земельної ділянки парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва проводилася у відповідності до норм чинного законодавства України та з урахуванням спеціального статусу земель природно-заповідного фонду.

Основними нормативними актами, які регламентували порядок проведення робіт, стали Земельний кодекс України, Закон України «Про землеустрій», а також постанови Кабінету Міністрів України №476 від 5 червня 2019 року та №1051 від 17 жовтня 2012 року [1-2], які визначають правові та методичні засади здійснення інвентаризації земель і ведення державного земельного кадастру.

Метою дослідження стало встановлення точних меж, площі, категорії, цільового призначення та складу угідь досліджуваної території, а також перевірка відповідності фактичного використання землі її правовому статусу. Особливу увагу було приділено визначенню охоронного режиму, наявності обтяжень і відповідності існуючого стану цільовому призначенню земель - а саме використанню для збереження та функціонування парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва (Див рис.1).

На першому етапі було проведено топографо-геодезичне обстеження території з метою отримання точних координат меж земельної ділянки (див. Рис 2). У роботах використовувалася GNSS-мережа System.NET, яка забезпечила високу точність визначення просторових параметрів у системі координат МСК-53. Завдяки застосуванню РТК-технологій вдалося досягти планової точності на рівні не гірше $\pm 0,05$ метра. Спостереження виконувались в режимі реального часу з використанням коригуючої інформації (РТК-поправок). Розрахунок РТК-поправок виконувався програмним комплексом GStar, встановленому на сервері. Перед виконанням робіт безпосередньо на об'єкті, виконано контрольне вимірювання на пунктах Державної геодезичної мережі з відомими координатами у обраній системі координат.

Кадастрова зйомка земельної ділянки виконана з точок планової геодезичної основи полярним методом з незалежним контролем геодезичного визначення (прямими лінійно-кутовими засічками). Лінійно-кутові виміри при створенні планової геодезичної основи та кадастрової зйомки земельної ділянки



виконувались електронним GNSS приймачем Elnav i73. Тахеометричне знімання було проведено кваліфікованим сертифікованим інженером-землевпорядником.



Рисунок 1. Місце розташування парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення "Парк сільськогосподарського технікуму"

Перехід до місцевої системи координат (MSK-53), яка зв'язана з системою координат УСК-2000 здійснено за допомогою модуля перерахунку координат програмного забезпечення "Digitals". Обробку матеріалів польових вимірювань виконано за допомогою програмного забезпечення "Digitals" на персональному комп'ютері. Таким чином, створена цифрова модель (dmf-файл) та виготовлено електронний документ (обмінний файл формату «XML») для державної реєстрації земельної ділянки відповідно до вимог Закону України «Про державний земельний кадастр» [10].

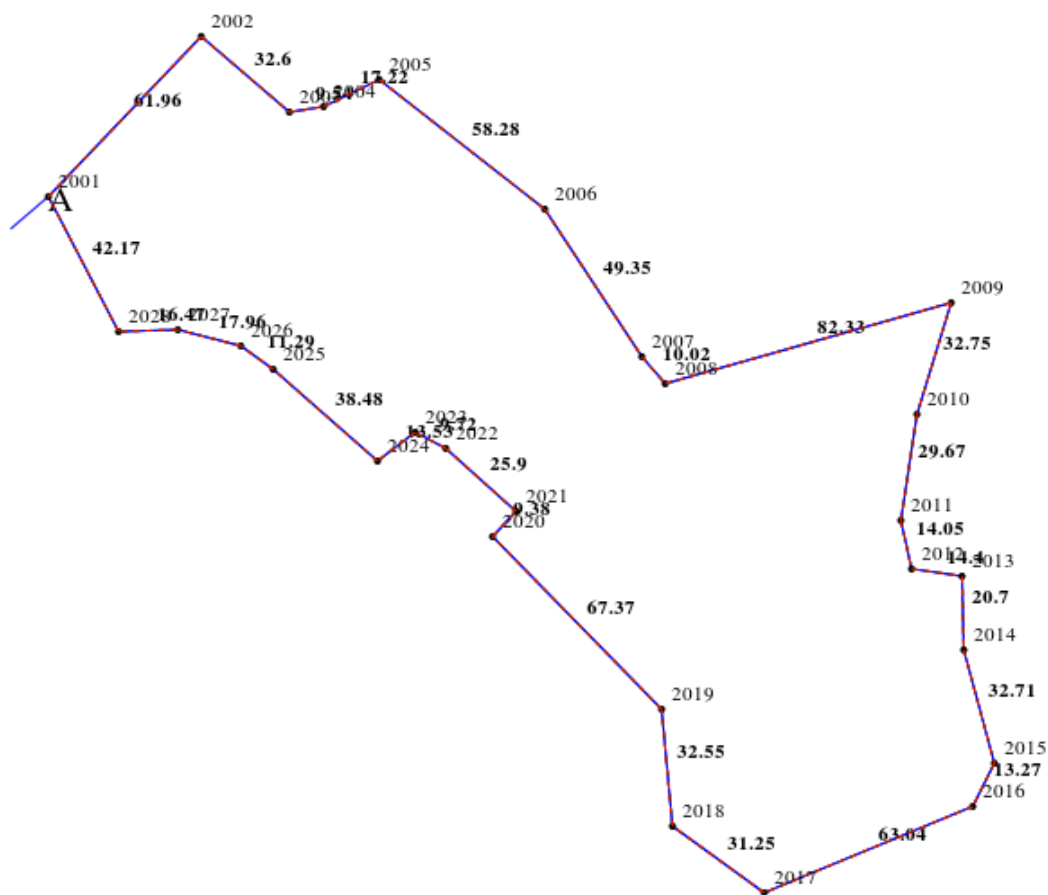


Рисунок 2. Розміщення поворотних точок на полігоні

Після виконання польових робіт та обробки даних складено планово-картографічні матеріали щодо відведення земельної ділянки. Це дозволило створити актуальну ситуаційну карту з відображенням меж, конфігурації ділянки та навколишнього середовища.

Паралельно з геодезичними роботами здійснювався кадастровий аналіз території, який охоплював юридичну перевірку наявних документів щодо права користування землею, її правового режиму та функціонального призначення. Земельна ділянка була ідентифікована як така, що належить до категорії земель природоохоронного призначення з відповідним кодом – 300. Це зобов'язує користувача дотримуватися спеціального охоронного режиму та узгоджувати будь-які зміни в ландшафті з вимогами екологічного законодавства.

У межах інвентаризації здійснено детальне обстеження складу угідь, вивчено тип озеленення та сучасне функціональне навантаження території.



Встановлено, що парк виконує не лише культурно-естетичну й освітню функцію, але й має важливе природоохоронне значення як об'єкт природно-заповідного фонду. Окрема увага приділялася аналізу структури зелених насаджень, що дало змогу оцінити стан біорізноманіття, потенціал до відновлення середовища та визначити пріоритетні напрями управління територією.

Інвентаризація показала, що частина території використовується з порушенням встановленого режиму: спостерігаються випадки самовільного паркування, стихійні сміттєзвалища, занедбані ділянки з проявами ерозійних процесів. Це потребує впровадження посиленних охоронних заходів, санітарної очистки та відновлення насаджень. Система доріжок та освітлення частково зруйнована або не функціонує, а відсутність актуальної топографо-геодезичної основи ускладнює планування природоохоронних і відновлювальних робіт.

Водночас територія зберігає високу природо-ландшафтну цінність. Тут представлені цінні види деревних рослин (Липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), Дуб черешчатий (*Quercus robur* L.), Клен гостролистий (*Acer platanoides* L.)), декоративні насадження, а також окремі екземпляри віком понад 80 років, що становлять історико-культурну й біоекологічну цінність. Збережена дендрофлора виступає генетичним банком інтродукованих і місцевих видів, забезпечує стійкість екосистеми та її здатність до саморегуляції в умовах змін клімату. Це підкреслює значення парку як науково-дослідного полігону для вивчення урбанізованих екосистем.

Особливу цінність має «віковий дуб Шевченка (*Quercus robur* L.)», що є природною домінантою та культурним символом території. Він виконує функцію меморіального об'єкта, входить до складу охоронних елементів ландшафту та формує центр просторової композиції.

Функціонально парк виступає багатoproфільним простором: поєднує природоохоронну, освітньо-наукову, культурно-історичну та рекреаційну функції. Завдяки компактним розмірам і доступності він використовується для короткочасного відпочинку мешканців і студентів, виконує роль «зеленого коридору» міста та є важливою зоною екологічної освіти і натурних досліджень.



Тут проводяться польові заняття, навчальні практики, ботанічні спостереження, що підсилює його статус як об'єкта природно-заповідного фонду.

Таким чином, екологічне й науково-освітнє значення парку «Парку сільськогосподарського технікуму» визначається його роллю у збереженні біорізноманіття, формуванні сталого міського середовища, підтриманні культурно-історичної спадщини та забезпеченні екосистемних послуг. Подальший розвиток території вимагає інтеграції у стратегію охорони природно-заповідного фонду, впровадження системи моніторингу та активного залучення громадськості до процесів збереження.

У межах просторового аналізу результати геодезичних та картографічних вимірювань інтегровано в єдину інформаційну систему та сформовано цифрову модель рельєфу, що дозволило розробити кілька варіантів планувальних рішень. Геодезичні роботи стали основою для створення тривимірної моделі території, яка відображає природні нерівності, дозволяє планувати маршрути, зони спостереження та розміщення малих архітектурних форм із урахуванням зручності, естетики та охоронних вимог (Див. рис 3).

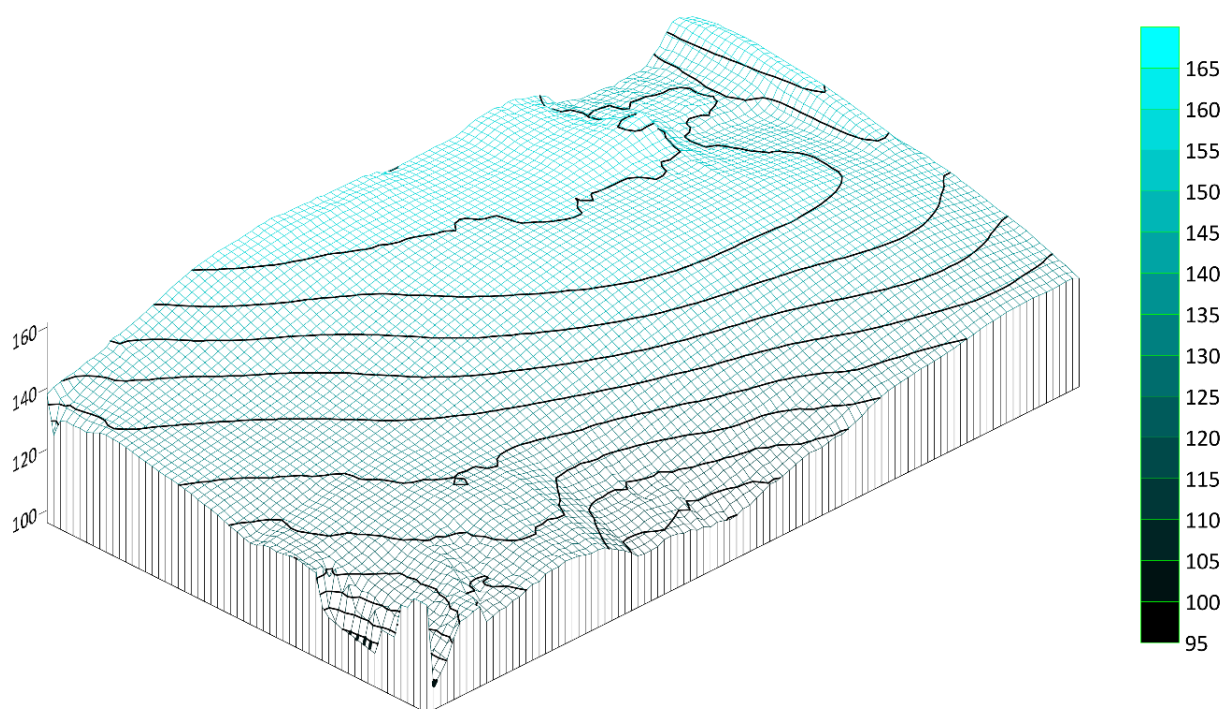


Рисунок 3. Цифрова модель рельєфу території парку



Було встановлено, що рельєф території має складний та різновисотний характер, що істотно впливає на його просторову організацію та функціональне використання. У межах території спостерігається перепад висот від 95 до 165 м, що зумовлює формування схилів та понижених ділянок із різними природними умовами. Північна частина парку характеризується підвищеними відмітками та вираженими схилами, які формують специфічні ландшафтні перспективи, проте одночасно створюють ризики ерозійних процесів. Натомість південні та південно-західні ділянки мають більш знижені рівні, де акумулюються поверхневі води, що створює передумови для формування локальних мікроландшафтів та можливості інтеграції водних або декоративних елементів у планувальну структуру.

Наявність складного рельєфу обумовлює необхідність застосування інженерно-геодезичних та ландшафтних заходів під час реконструкції та благоустрою території. Зокрема, на ділянках із підвищеною ерозійною небезпекою доцільним є укріплення схилів за допомогою багаторічних трав'яних культур, кущових насаджень або дрібних архітектурних форм, тоді як понижені ділянки можуть бути використані для створення рекреаційних зон відпочинку чи декоративних водойм. Таким чином, рельєф виступає визначальним фактором, що формує особливості ландшафтного середовища парку та потребує врахування під час розробки проектних рішень із планування та реконструкції.

Враховуючи наявний стан насаджень, рельєфні особливості та сучасні підходи до організації рекреаційного простору було розроблено рекомендації щодо планування території в межах реконструкції «Парку сільськогосподарського технікуму». Оскільки територія парку характеризується значним ступенем захаращеності, першочерговим етапом має стати проведення комплексного благоустрою з видаленням сухостою, санітарною очисткою від самосіву та сміття, а також відновленням проектної структури зелених насаджень. Особливу увагу необхідно приділити реконструкції та формуванню ландшафтних композицій із використанням як існуючих, так і нових



декоративних деревно-чагарникових порід, що підвищить естетичну привабливість і біорізноманіття території.

Зважаючи на статус парку як об'єкта природно-заповідного фонду, усі заходи з реконструкції повинні здійснюватися з урахуванням принципів збереження природних цінностей. Це означає обмеження втручання у стабільні екосистеми, збереження рідкісних та цінних видів дерев, забезпечення відновлення автохтонної флори. Впровадження нових декоративних порід має відбуватися лише у тій частині території, де це не загрожує екологічній рівновазі та історико-культурній автентичності парку.

Враховуючи перепад висот на рельєфі, доцільно застосувати терасування або облаштування підпірних стінок для стабілізації схилів та запобігання ерозійним процесам. Це не лише сприятиме безпечній експлуатації парку, а й дозволить створити різнорівневі зони відпочинку з видовими майданчиками. Використання природних рельєфних акцентів у поєднанні з продуманою системою пішохідних доріжок та оглядових платформ забезпечить комфортне пересування та підвищить рекреаційний потенціал території (див. табл.1).

Таким чином, заходи з реконструкції повинні поєднувати завдання благоустрою та відновлення з охороною природних і культурних цінностей, що притаманні об'єкту ПЗФ. Це дасть змогу зберегти його статус унікальної території садово-паркового мистецтва та водночас адаптувати простір до сучасних потреб громади.

У процесі планування доцільно інтегрувати сучасні ГІС-технології для точного аналізу топографічних параметрів і моделювання варіантів благоустрою. Важливим є створення ефективної системи освітлення та навігації, яка забезпечить безпечне користування парком у темний час доби та сприятиме його привабливості як громадського простору.

Таким чином, реалізація комплексних заходів із благоустрою, охорони та просторового планування, із урахуванням екологічних, естетичних, культурних і функціональних вимог, дозволить перетворити «Парк сільськогосподарського технікуму» на сучасний об'єкт природно-заповідного фонду місцевого значення.



Його розвиток має відбуватися в контексті збереження біорізноманіття, підтримання екологічної рівноваги та формування комфортного середовища для відпочинку й освіти населення. Це підкреслює багатофункціональність парку як елемента міської рекреаційної інфраструктури та одночасно – як складової системи природно-заповідних територій Полтавщини.

Таблиця 1. - Характеристика морфологічних елементів рельєфу території парку та можливі напрями використання

Морфологічний елемент рельєфу	Характеристика	Потенційні проблеми	Рекомендоване використання
Схили (північна та східна частини парку)	Похилі ділянки з перепадом висот до 70 м, місцями з крутими ухілами	Ризик поверхневої ерозії, зсувні процеси, складність облаштування доріжкової мережі	Укріплення схилів багаторічними травами, декоративними кущами; створення оглядових майданчиків, видових точок
Підвищення (північний захід)	Вершинні ділянки з відмітками до 165 м, добре освітлені, з оглядом на більшу частину парку	Вітрова ерозія, пересихання ґрунтів у літній період	Розміщення оглядових платформ, просвітницьких майданчиків
Пониження (південна та південно-західна частини)	Території з відмітками близько 95–105 м, акумуляція поверхневих вод, сприятливі умови для вологолюбної рослинності	Надмірне зволоження ґрунту, можливе заболочування	Створення рекреаційних галявин, зон тихого відпочинку, висадка вологолюбних культур

Висновки.

Проведене дослідження підтвердило, що комплексний геодезичний облік і детальний аналіз рельєфу є базовою передумовою ефективного управління об'єктами ПЗФ. Застосування сучасних геодезичних технологій (GNSS, RTK, System.NET) забезпечило створення високоточної цифрової моделі рельєфу, яка



стала основою для виявлення проблемних ділянок та формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо охорони та раціонального використання території.

Морфологічний аналіз продемонстрував складну та різновисотну структуру території, що потребує спеціалізованого зонування з урахуванням природоохоронних вимог. Зокрема, схили мають бути укріплені для запобігання ерозійним процесам, підвищення можуть слугувати оглядовими майданчиками із забезпеченням мінімального антропогенного навантаження, а пониження — використовуватися як рекреаційні зони з обов'язковим контролем за станом ґрунтово-гідрологічних умов для уникнення заболочування.

Попри наявність занедбаних і нецільово використаних ділянок, парк зберігає значний природний, соціальний та освітній потенціал. Його біорізноманіття, наявність вікових дерев та вдале розташування в міській структурі визначають його як цінний елемент зеленого каркасу Полтави та важливий осередок природної спадщини.

Запропоновані заходи, засновані на точних геодезичних даних, сприятимуть не лише відновленню функціональності парку, але й забезпеченню його сталого розвитку як об'єкта природно-заповідного фонду. Вони дозволять підвищити естетичну привабливість території, посилити природоохоронну складову та інтегрувати парк у сучасні концепції сталого розвитку міського середовища.

Геодезичне забезпечення у цьому контексті виступає не лише інструментом інвентаризації та аналізу, а й основою для просторового планування та моніторингу земель ПЗФ з урахуванням екологічних, соціальних, історико-культурних і ландшафтних чинників. Перспективними напрямками подальших досліджень є впровадження мобільних геодезичних платформ, регулярний моніторинг стану території за допомогою БПЛА, застосування LiDAR-технологій для високоточного картографування, а також інтеграція отриманих даних у складі міських геоінформаційних систем. Це дозволить створити дієвий інструментарій для управління об'єктами природно-заповідного фонду в умовах урбанізованого середовища.



Література:

1. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3–4. Ст. 27.
2. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 № 858-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 282.
3. Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16.06.1992 № 2456-XII. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 34. Ст. 502.
4. Про державний земельний кадастр : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. Відомості Верховної Ради України. 2012. № 8. Ст. 61.
5. Деякі питання проведення інвентаризації земель : постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 № 476. Офіційний вісник України. 2019. № 46. Ст. 1559.
6. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру : постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 № 1051. Офіційний вісник України. 2012. № 83. Ст. 3353.
7. ДСТУ 3650-97. Система позначень землевлпорядної документації. Київ : Держстандарт України, 1997. 23 с.
8. ДСТУ 2580-94. Класифікація видів цільового призначення земель. Київ : Держстандарт України, 1994. 18 с.
9. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. Київ : Мінрегіон України, 2019. 178 с.
10. Методичні рекомендації щодо проведення інвентаризації земель та земельних ділянок. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2020. 48 с.

Abstract. *Geodetic inventory and analysis of lands play a crucial role in the effective management, planning, and reconstruction of recreational territories belonging to the Nature Reserve Fund (NRF). Urban parks of this category are not only elements of recreational infrastructure but also core components of ecological stability, biodiversity conservation, and cultural heritage preservation. The "Agricultural Technical School Park" in Poltava represents a unique NRF object with significant ecological and social value, yet its current condition is characterized by degradation, overgrowth, and insufficient functional use.*

The research was based on the application of modern geodetic technologies, including GNSS, RTK, and System.NET measurements. High-precision digital terrain models (DTM) were generated,



allowing for a detailed morphological analysis of the park's territory. The study also integrated cartographic modeling and field ecological assessment to identify critical zones of erosion, waterlogging, and areas containing rare or valuable plant species. Functional zoning was proposed according to terrain features and ecological restrictions.

The morphological analysis revealed a complex and uneven relief with significant differences in elevation, which directly affects the distribution of vegetation and hydrological processes. The geodetic data made it possible to identify degraded areas requiring urgent restoration, as well as stable territories suitable for recreational functions. Recommendations were formulated for strengthening slopes, improving drainage in depressions, and creating new functional spaces (scenic viewpoints, ecological-educational trails, biodiversity conservation zones). The NRF status of the park emphasizes the importance of protecting unique tree species, preserving dendrological diversity, and ensuring ecological connectivity within the urban green infrastructure.

Geodetic support is an essential scientific tool for the planning and sustainable reconstruction of NRF lands. The integration of geodetic data into landscape design ensures ecological balance, aesthetic improvement, and enhanced functionality of urban recreational areas. The study confirms that geodetic analysis should serve as the basis for developing adaptive management strategies, integrating biodiversity conservation with spatial development goals. Future research perspectives include the implementation of UAV-based geodetic monitoring, automation of GIS integration, and the application of smart geospatial technologies for continuous ecological control and urban landscape planning.

Keywords: geodetic inventory, digital terrain model, Nature Reserve Fund, landscape planning, park reconstruction, biodiversity conservation, UAV monitoring, urban green infrastructure.

Стаття відправлена: 04.09.2025 р.

© Нагорна С.В., Куришко Р.В., Чувпило В.В., Шевчук С.М., Гапон С.В.



CONTENTS

Architecture and construction

- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-014> 3
 ARCHITECTURAL GRAPHICS AND COLOR: INTERACTION
 IN THE VISUALIZATION OF IDEAS
Sobko Y.T., Ovsienko O.V., Riezanova K.A.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-089> 12
 THE INFLUENCE THE MAGNITUDE OF STRENSSES IN THE
 METAL STRUKTURE AND OPERATING CONDITIONS ON THE
 CRACK RESISTENCE AND DUREBILITY OF MATERIALS OF
 BUSLDSNG STRUCTURES AND BUILDINGS
*Makarenko V., Savenko V., Makarenko Y.
 Gots V., Tereshchuk M.*
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-104> 23
 INNOVATIVE APPROACHES TO MONOLITHIC CONSTRUCTION:
 THE POTENTIAL OF FIBER-REINFORCED CONCRETE
Vitrovyi A.O., Buyak A.Y., Popovich P.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-105> 32
 MEMORIAL SPACES OF DNIPR CITY, THE ISSUES OF
 RESTORATION AND INTEGRATION INTO THE MODERN
 URBAN ENVIRONMENT
Polyushkin S. S., Kharchenko K. S.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-109> 40
 SPECIFIC FEATURES OF LAND CADASTRE MAINTENANCE
 IN UKRAINE UNDER CONDITIONS OF MILITARY AGGRESSION
Kahnich P.F., Lyusak A.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-110> 47
 TECHNOLOGIES OF APPLYING ACRYLIC COMPOSITIONS FOR
 MONOLITHIC JOINTING OF OLD AND NEW CONCRETE WHEN
 CONSTRUCTING BUILDINGS AND STRUCTURES
Zolotova N., Suprun O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-138> 54
 PREDICTING FROST HEAVE IN ROAD EMBANKMENTS:
 A MACHINE LEARNING APPROACH INTEGRATING
 SOIL COMPOSITION AND WEATHER
Balashova Yu.B., Balashov A.O.



Physics and mathematics

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-006> 65

ANALYTICAL CALCULATIONS OF CERTAIN CASES OF
GEOMETRIC ARRANGEMENT OF FIRST AND SECOND
ORDER LINES ON A PLANE

Vyshenska O. V., Belova M.A.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-027> 73

LAMB WAVE-BASED STRUCTURAL MONITORING IN
COMPOSITE LAMINATES

Pysarenko A.M.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-090> 82

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR THE USING
OF MODERN TOOLS IN LEARNING MATHIMATICS IN THE
CONTEXT OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL

Prostakova Y.S. , Yermolenko V.Y.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-117> 90

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF RAILWAY
TRANSPORT THROUGH PHYSICAL AND MATHEMATICAL
METHODS

Kotvytska K.A., Yerochin Ya. D.

Chemistry and pharmaceuticals

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-129> 96

DETERMINATION OF SILVER CITRATE IN DIETARY
SUPPLEMENTS BY SORPTION-ATOMIC ABSORPTION
SPECTROMETRY

Zaitseva G.M., Pushkareva Ya.M., Popenko A.O.

Medicine and health care

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-001> 104

EPIDEMIC ALARMS : SYSTEM CALLS SECURITY HEALTH
UKRAINE

Chernyshov O.V., Drobot V.H.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-012> 118

POTENTIAL OF SMART FABRICS IN PASSIVE STIMULATION
OF MUSCLE MEMORY

Sarnov I.



- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-029> 130
MODERN LOOK ON RESISTANCE TO PLATINUM IN PATIENTS
WITH THE SEROUS OVARIAN CANCER
Rybin A.I., Kuznetsova O.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-031> 138
IMMUNOLOGICAL COMPLEXITY AND SEPSIS-RELATED
GRAFT DYSFUNCTION IN A PEDIATRIC KIDNEY
TRANSPLANT RECIPIENT: A CASE-BASED REVIEW
Vakulenko L., Obolonska O., Rhenita Rajkumar, Medvedska O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-047> 148
BRONCHIAL ASTHMA AND OBESITY: OPPORTUNITIES
FOR INTEGRATING QUESTIONNAIRES INTO FAMILY
PHYSICIAN CLINICAL PRACTICE
Lahoda D.O., Nazarian V.M., Danylchuk H.O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-066> 158
PHARMACEUTICAL DEVELOPMENT OF A SCALP LOTION
BASED ON CAPSICUM
Hrynovets I.S., Strepko I.I.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-072> 168
ECHOCARDIOGRAPHIC ANALYSIS OF LEFT ATRIAL
DEFORMATION USING THE SPECKLE TRACKING
METHOD IN PREDICTING THE COURSE OF ATRIAL
FIBRILLATION
Kozhyn M.I., Rynchak P.I., Khodosh E.M.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-076> 176
WAVELET-BISPECTRUM METHOD FOR DETERMINING QRS
COMPLEX POSITIONS IN ECG SIGNALS
Viunytskyi O.H., Totsky O.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-079> 192
BISPECTRAL FILTERING OF ECG SIGNALS
Viunytskyi O.H., Totsky O.V.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-112> 211
A METHOD FOR PREDICTING THE SPREAD OF EPIDEMIOLOGICAL
THREATS BASED ON THE TELEGRAPH EQUATION
Malanchuk O.
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-133> 227
STATUS OF THE ASSOCIATED MICROBIOTA OF THE ORAL
CAVITY IN PATIENTS WITH CHRONIC LACUNAR ANGINA
Mikheev A.A., Sydorchuk L.I., Blinder O.O., Sydorchuk I.Y.



Biology and ecology

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-010> 238

INFLUENCE OF THE MINING INDUSTRY ON GULLY-RAVINE
SYSTEM TRANSFORMATION: USING THE EXAMPLE OF
KRYVYI RIH IRON-ORE BASIN, UKRAINE.

Alokhina T.M.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-015> 248

THE IMPACT OF MILITARY OPERATIONS ON FOREST
ECOSYSTEMS AND THEIR RESTORATION MANAGEMENT

Panova S.M.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-064> 260

MONITORING OF PERENNIAL PLANTS IN FOREST STRIPS
IN EASTERN UKRAINE UNDER THE IMPACT OF MILITARY
OPERATIONS

Babenko V.M., Tykhomyrova T. S.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-125> 268

IMPACT OF THE MILITARY ACTIONS IN UKRAINE ON THE
ECOSYSTEM OF UKRAINE

Oreshkov V.I., Hynda V.V., Buheda L.K.

Agriculture, forestry, fishery and water management

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-039> 280

PROBLEMS OF NATURAL WATERS IN UKRAINE AND WAYS
TO THEIR SOLUTION

Arkhylova V.V., Volkova V.E., Hruzdieva O.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-130> 294

FORMATION OF SEED PRODUCTIVITY OF SELECTION SAMPLES
OF SEED PEA (WINTER)

Marinich L.G., Salivon Y.S.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-131> 303

FORMATION OF ALFALFA SEED PRODUCTIVITY DEPENDING
ON VARIETAL CHARACTERISTICS

Marinich L.G., Kochur O.S.

Geology, geophysics and geodesy

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj33-02-016> 311

GEODETTIC INVENTORY AND ANALYSIS OF LANDS OF THE
NATURE RESERVE FUND AS A BASIS FOR PLANNING AND
RECONSTRUCTION OF PARK AND GARDEN OBJECTS

Nahorna S.V., Kuryshko R.V., Chuvpylo V. V., Shevchuk S.M., Gapon S. V.



Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №33
Part 2
September 2025

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 73)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: September 30, 2025

e-mail: editor@sworldjournal.com
site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com

